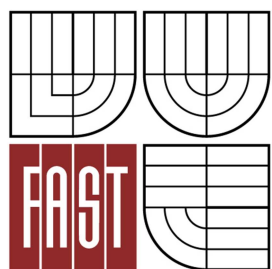




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

POSOUZENÍ FYZIKÁLNĚ-MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ A TRVANLIVOSTI POJIVOVÝCH KONCEPCÍ NA BÁZI ÚČELOVÉHO VZNIKU ETTRINGITU

ASSESSMENT OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES AND DURABILITY OF BINDER CONCEPTS
BASED ON PURPOSEFUL CREATION OF ETTRINGITU

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETRA MACHÁŇOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. NIKOL ŽIŽKOVÁ, Ph.D.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Petra Macháňová
Název	Posouzení fyzikálně-mechanických vlastností a trvanlivosti pojivových koncepcí na bázi účelového vzniku ettringitu
Vedoucí diplomové práce	Ing. Nikol Žižková, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2011
Datum odevzdání diplomové práce	13. 1. 2012
V Brně dne 31. 3. 2011	

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

BÁRTA, R. Chemie a technologie cementu, Nakladatelství Československé AV, Praha, 1961.
SVOBODA, L. a kol. Stavební hmoty, Jaga, Praha, 2004, ISBN 80-8076-007-1.
STARK, J., BOLLMAN, K. Delayed ettringite formation in concrete, Proc. Nordic Concr. Res. Mtg., Island, 1999, pp. 4–28., 2001.
KUZEL, H., J. Initial Hydration Reactions and Mechanisms of Delayed Ettringite Formation in Portland Cements, Cement and Concrete Composites, Vol.18, 1996, pp.195-203.
HARBON, R., A General Description of Flow-Applied Floor Screeds-An Important Application for Complex Formulations Based on CAC, International Conference on Calcium Aluminate Cements (CAC), Held at Heriot-Watt University, Edinburgh, 2001.
LACH, V., DAŇKOVÁ, M. Mikrostruktura stavebních látek, VUT v Brně, 1991.
DROCHYTKA, R. Trvanlivost stavebních materiálů, VUT v Brně, 2007, studijní opora.
Příslušné technické normy a předpisy, technická dokumentace vybraných výrobků firem (Italcementi group, Rhodia, Kerneos, Caltra), články v odb. časopisech a sbornících.

Zásady pro vypracování

Skutečnost, že ettringit, tedy jeho tvorba, není pouze procesem způsobujícím destrukci betonu, ale také efektivně využívaným minerálem ve speciálních aplikacích, je zatím opomíjena a velmi málo publikována. Typickými představiteli moderních výrobků, které nelze připravit bez účelové tvorby ettringitu, jsou cementové samonivelační stěrky. Tato práce bude zpracována ve spolupráci s firmou LB Cemix a bude zaměřena na sledování procesu tvorby primárního ettringitu a následné trvanlivosti hmot. V diplomové práci proveďte:

1. V teoretické části popište vlastnosti a využití tvorby ettringitu ve výrobě stavebních hmot. Proveďte rešerši v oblasti možností účelového vzniku ettringitu a uveďte také rizika spojená s tvorbou sekundárního ettringitu.
2. Na základě provedené rešerše vyberte a ověřte vhodné pojivové koncepce s řízenou tvorbou ettringitu, které lze uplatnit při výrobě polymer-cementové samonivelační hmoty. Za účelem zvýšení trvanlivosti (např. po působení vody) ověřte možnost využití alternativních surovinových zdrojů (zejména vedlejších energetických produktů).
3. Navrhněte vhodné zkušební metody (kromě normových dle ČSN EN 13 813 Potěrové materiály a podlahové potěry) a také korozní prostředí pro uložení vzorků za účelem sledování trvanlivosti samonivelačních hmot.
4. Experimentálně ověřte použití vybraných variant řízené tvorby ettringitu a vedlejších energetických produktů u vybrané samonivelační hmoty včetně sledování trvanlivosti připravených směsí a proveďte studium mikrostruktury za účelem objasnění získaných výsledků (RDA, REM, DTA).
5. Proveďte zhodnocení dosažených výsledků a rozbor problematiky s praktickými dopady do stavební praxe.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací.

.....

Ing. Nikol Žižková, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá studiem pojivových koncepcí na bázi účelového vzniku ettringitu, posouzením fyzikálně-mechanických vlastností a trvanlivosti. V teoretické části je zmínka o ettringitu a jeho funkci ve stavebních materiálech, dále jsou zde popsány pojivové koncepce účelového vzniku ettringitu a samonivelační stěrky, pro které je řízená tvorba ettringitu typická. V praktické části jsou provedeny rozborů vstupních surovin a složení jednotlivých směsí včetně typů korozních prostředí pro posouzení trvanlivosti. Dále jsou ověřeny vlastnosti navržených směsí a vyhodnocena vhodnost použití s ohledem na výsledné vlastnosti.

Klíčová slova

Ettringit, trvanlivost, pojivové koncepce, korozní prostředí, samonivelační hmoty

Abstract

Masters`s thesis deals with study of binder concept based on purposeful creation of ettringite, assessment of physic-mechanical properties and durability. The teoretical part is the mention of ettringite and his function in building materials, are described binder concepts based on purposeful creation of ettringite and self-levelling screed for which the controlled formation ettringite typical. In the practical part are did analysis of raw materials and the composition of the mixture, including types corrosive environment for the assessment of durability. In addition are checked properties of the proposed mixture and evaluated the appropriateness of use of each type of waste materials with regard to the resulting properties.

Keywords

Ettringite, durability, binder concepts, corrosion environment, self-levelling materials

...

Bibliografická citace VŠKP

MACHÁŇOVÁ, Petra. *Posouzení fyzikálně-mechanických vlastností a trvanlivosti pojivových koncepcí na bázi účelového vzniku ettringitu*. Brno, 2011. 76 s., 4 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Nikol Žižková, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně, a že jsem uvedl(a) všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 15.1.2012

.....
podpis autora

Poděkování:

Ráda bych poděkovala své vedoucí diplomové práce Ing. Nikol Žižkové, Ph.D. za její cenné rady a věcné připomínky, které přispěly ke zkvalitnění této práce. Dále patří mé poděkování Ing. Miroslavu Štenkovi za odborné vedení a pomoc při řešení problémů během vypracování diplomové práce.

Také bych na tomto místě chtěla poděkovat své rodině a příteli za velkou podporu při studiu.

OBSAH

I.	Úvod.....	9
II.	TEORETICKÁ ČÁST	11
1	Minerál Ettringit	11
2	Ettringit ve stavebních materiálech.....	12
2.1	Ettringit účelově vznikající jako retardér tuhnutí cementu.....	12
2.2	Vliv sádrovce na vlastnosti cementu.....	13
2.3	Ettringit jako důsledek síranové koroze betonů.....	14
3	Historie pojivových koncepcí s účelovou tvorbou ettringitu.....	16
3.1	Období z přelomu poloviny 20. století	16
3.2	Období 60. let 20. století.....	17
4	Současnost pojivových koncepcí s účelovou tvorbou ettringitu.....	21
4.1	Ternární pojivové koncepce PC-CAC-C\$.....	21
4.2	Ternární a pseudobinární pojivové koncepce PC-C\$A-C\$	22
4.3	Binární pojivová koncepce CA-C\$.....	23
5	Výrobkové skupiny na pojivové koncepci s účelovou tvorbou ettringitu	24
5.1	Kotvicí a zálivkové hmoty	24
5.2	Spárovací hmoty	24
5.3	Lepicí hmoty	25
5.4	Správkové hmoty	25
5.5	Podlahové hmoty	26
6	Samonivelační podlahové stěrky	27
6.1	Specifikace pojmů.....	27
6.2	Stěrkové nivelační a vyrovnávací hmoty	28
6.3	Cementové samonivelační hmoty	29
III.	Cíl práce	30
IV.	PRAKTICKÁ ČÁST	31
7	Metodika práce	31
7.1	I. Etapa: Rozbor vstupních surovin.....	31
7.2	II. Etapa: Návrh jednotlivých směsí a jejich následné zkoušení po uložení v laboratorním a korozním prostředí.....	31
7.3	III. Etapa: Modifikace vybrané směsi a její následné zkoušení po uložení v laboratorním a korozním prostředí.....	32
7.4	IV. Etapa: Studium mikrostruktury na vybraných směsích.....	33
7.5	Základní směsi	37
7.6	Příprava zkušebních vzorků.....	37
8	Popis prováděných zkoušek	38
8.1	Zkouška Rozlivu (ČSN EN 12706)	38
8.2	Otevřený čas	38
8.3	Stanovení pevnosti v tahu za ohybu (ČSN EN 13 892-2)	38
8.4	Stanovení pevnosti v tlaku (ČSN EN 13 892-2).....	39
8.5	Stanovení přídržnosti (ČSN EN 13 892-8)	39
8.6	Rentgenová difrakční analýza (RTG)	40
8.7	Elektronová rastrovací mikroskopie (REM).....	40
8.8	Vysokotlaká rtuťová porozimetrie.....	40
9	I. ETAPA: Rozbor vstupních surovin	41
9.1	Cement portlandský CEM I 42,5 R	41
9.2	Cement hlinitanový.....	41

9.3	Síran vápenatý - hemihydrát	42
9.4	Kalcium-aluminátový slínek	43
9.5	Kalcium-sulfo-aluminátový cement	43
9.6	Křemičitý písek	44
9.7	Vápenec velmi jemně mletý.....	44
9.8	Granulovaná vysokopecní struska	45
9.9	Aditiva	45
9.9.1	Speciální přísady	45
9.9.2	Akcelerátor tuhnutí	45
9.9.3	Akcelerátor tvrdnutí.....	46
9.9.4	Retardér tuhnutí	46
9.9.5	Superplastifikační přísada.....	46
9.9.6	Diutanová guma - antisegregace.....	46
9.10	Stachesil	46
9.11	Metaver I – I META 4	47
9.12	Microsit M10	48
10	II. Etapa: Návrh jednotlivých směsí a jejich následné zkoušení po uložení v laboratorním a korozním prostředí.....	49
10.1	Základní směsi	49
10.2	Zkouška rozlivu	50
10.3	Otevřený čas	50
10.4	Pevnost v tahu za ohybu	51
10.5	Pevnost v tlaku.....	53
10.6	Přídržnost	55
11	III. Etapa: Modifikace vybrané směsi a její následné zkoušení po uložení v laboratorním a korozním prostředí.....	57
11.1	Modifikované směsi.....	57
11.2	Zkouška rozlivu	58
11.3	Otevřený čas	59
11.4	Pevnost v tahu za ohybu	59
11.5	Pevnost v tlaku.....	60
11.6	Přídržnost	61
12	IV. Etapa: Studium mikrostruktury na vybraných směsích.....	63
12.1	Rentgenová difrakční analýza (RTG)	63
12.2	Vysokotlaká rtuťová porozimetrie.....	67
12.3	Elektronová rastrovací mikroskopie (REM).....	67
13	Diskuze výsledků	71
13.1	I. Etapa: Rozbor vstupních surovin.....	71
13.2	II. Etapa: Návrh jednotlivých směsí a jejich následné zkoušení po uložení v laboratorním a korozním prostředí.....	71
13.3	III. Etapa: Modifikace vybrané směsi a její následné zkoušení po uložení v laboratorním a korozním prostředí.....	72
13.4	IV. Etapa: Studium mikrostruktury u vybraných směsí	73
V.	Závěr.....	74
VI.	Seznam použité literatury.....	75
VII.	Fotodokumentace	

I. Úvod

Ettringit nese jméno německého města Ettringenu. Je to minerál o složení $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$ a v přírodě je jeho výskyt poměrně vzácný.

Významnou komponentou se stal v souvislosti s regulací tuhnutí portlandského cementu (PC), při jehož hydrataci vzniká jako jedna z prvních krystalických fází, podílí se významně na krátkodobých pevnostech PC betonů a může sloužit ke kompenzaci smrštění betonů při jejich tuhnutí. [19] Pokud vzniká již ve zpevněném betonu, je jeho tvorba nebezpečná a způsobuje rozpad stavebního výrobku.

Skutečnost, že ettringit, tedy jeho tvorba není pouze procesem způsobující destrukci betonu, ale také efektivně využívaným minerálem ve speciálních aplikacích, je zatím opomíjena a velmi málo publikována.

Ettringit je hlavní složkou expandujících cementů. Tvoří se reakcí hlinité složky se síranem vápenatým, hydroxidem vápenatým a vodou. V portlandském cementu jsou přítomny hlinitanové fáze C_3A , v menším množství CA, eventuálně $\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$. Síran vápenatý v PC je ve formě dihydrátu nebo jako anhydrit II. Hydroxid vápenatý vzniká při hydrataci trikalciu a dikalcium silikátu přítomných v PC, do jiných maltovinových směsí může být přidán jako oxid nebo hydroxid vápenatý. Ettringit vzniká při hydrataci tuhých zbytků fluidního spalování uhlí, které obsahují všechny potřebné složky (volné vápno, hlinitou komponentu a anhydrit) a je též základem ettringických betonů [20] a pojivových koncepcí, založených na jeho účelové tvorbě. Vzhledem ke svému složení a relativně malé rozpustnosti má ettringit řadu zajímavých průmyslových využití. [19] Ettringit lze syntetizovat i laboratorně z různých výchozích složek, například pomocí roztoku síranu hlinitého či hlinitanu sodného. [21]

Typickými představiteli výrobků, které nelze připravit bez účelové tvorby ettringitu, jsou cementové samonivelační stěrky. Tyto materiály představují moderní stavební hmoty, které vlastní pojivovou koncepcí a obsahem vysoce účinných aditiv věrně odráží nejnovější poznatky materiálového inženýrství v oblasti stavebních hmot. [16]

Práce popisuje hlavní pojivové koncepce předmětných staviv, od dnes již tradičních ternárních směsných pojivových systémů (portlandský cement – hlinitanový cement – sádra: PC-CAC-C\$) přes novější ternární a pseudobinární systémy (portlandský cement – kalcium-sulfo-aluminátový cement resp. kalcium-sulfo-aluminátový slínek + sádra: PC-C\$A-C\$) až po nejnovější binární koncepci (kalcium-aluminátový slínek – sádra: CA-C\$).

Samonivelační stěrky jsou citlivé hmoty, které se umí při správném zacházení odměnit. Nejen opticky příjemnou plochou vyzívající podlaháře nebo obkladače pro kladení metrů, ale i příjemným pocitem z kvalitně odvedené práce. [24]

Tato diplomová práce bude zpracována ve spolupráci s firmou LB Cemix.

II. TEORETICKÁ ČÁST

1 Minerál Ettringit

Ettringit je extrémně vzácný minerál, vyskytující se v přírodě. Obvykle dobře vyvinuté a silné, hranolovité nebo jehlicovité krystaly jsou bezbarvé, někdy bílé až nažloutlé barvy.

Jeho název pochází z názvu města Ettringen v západním Německu, kde byl roku 1874 poprvé objeven a popsán.

Ettringit se nachází například v hydratovaném portlandském cementu v důsledku reakce hlinitanu a síranu vápenatého. Tvoří se v zásaditém prostředí, stabilní je při hodnotě pH 10-11. [1]

Pevný práškovitý ettringit se používá ve stavebnictví jako přísada do cementu nebo na čištění po požáru. Ettringit ve formě kalu je přednostně jako bílý pigment používán pro potahování papíru (křídový papír – vysoký jas, neprůhlednost a lesk). Jiné aplikace jsou použití v barvách a tekutých omítkách.



Obrázek 1: Ettringit, Jižní Afrika [18]

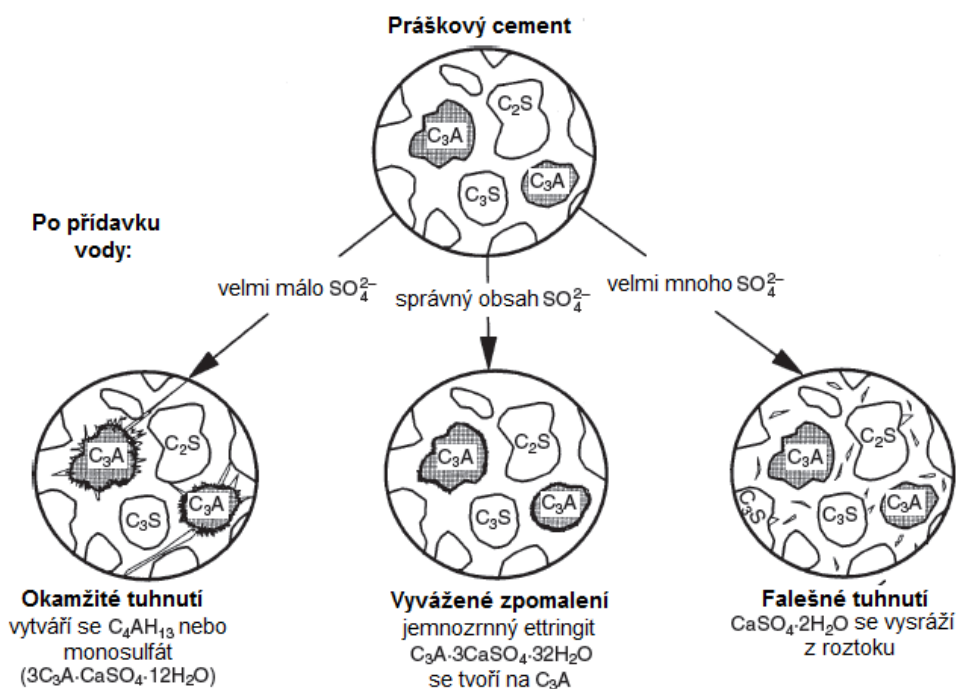
Tabulka 1: Tabulka vlastností minerálu ettringit

MINERÁLNÍ TŘÍDA	Hydratovaný sulfát
SKUPINA	Ettringitu
CHEMICKÝ VZOREC	$\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$
SYMETRIE	Hexagonální
BARVA	Bílá, žlutá, ve výbrusu bezbarvý
ŠTĚPNOST	Dobrá {1010}
LESK	Skelný, perleťový
MOHSE	2 až 2,5
TVAR	Sloupce, jehlice, vlákna, vějířkovité agregáty
HUSTOTA	1,8 g.cm ³
ROZPUSTNOST	Částečně rozpustný ve vodě

2 Ettringit ve stavebních materiálech

2.1 Ettringit účelově vznikající jako retardér tuhnutí cementu

Jemně mletý portlandský cement obvyklého složení by byl rychle tuhnoucí, a proto se ke slinku přimíká zpomalovač – sádrovec. Zpomalující účinek sádrovce spočívá ve vázání hlinitanů v ettringit.



Obrázek 2: Úloha sádrovce - V případě dostatečného přidavku sádrovce vzniká výhradně ettringit. Jestliže je v systému méně sádrovce, než je jeho adekvátní množství, vytváří se monosulfát. V případě přebytku síranu vápenatého, vzniká sekundární sádrovec. [14]

Sádrovec je zcela nezbytná přísada k slinku portlandského cementu. V případě, že slinek nebyl semlet se sádrovcem nebo jinou adekvátní přísadou, přechází rovněž do reakce C_3S . Teplota se zvyšuje, cementová kaše předčasně tuhne a její zpracovatelnost se značně zhoršuje. Tento jev se nazývá "falešné tuhnutí". K zabránění tuhnutí a k jistému řízení hydratace se ke slinku přidává vhodné množství sádrovce. V systému bez sádrovce vznikají v prvních fázích reakce poměrně velké, tabulkovité částice kalciumaluminát-hydrátu, které jsou vzájemně prorostlé a vytvářejí "pevnou" strukturu, způsobující předčasné tuhnutí.

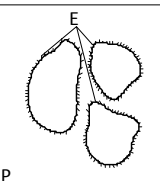
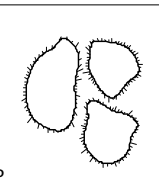
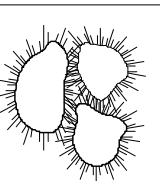
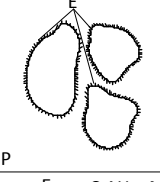

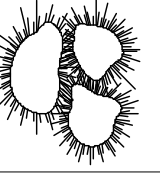
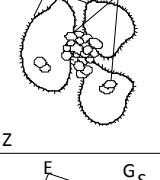
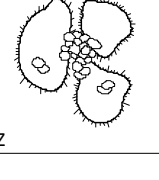
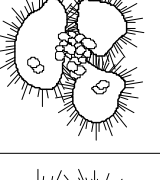
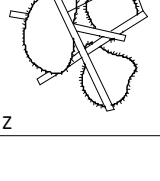
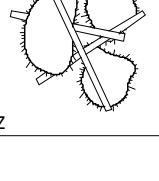
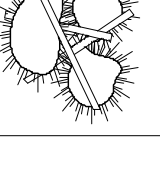
Pokud je v systému obsažen sádrovec, vzniká ettringit v podobě velmi malých částic na povrchu slinkových zrn, které vzhledem ke své morfologii nemohou vytvářet "pevnou" strukturu. Teprve jejich přeměnou v jehličkovité resp. tyčinkovité krystaly ettringitu vzniká pevná struktura, neboť "přemostňují" prostory mezi zrny slinku, která spojují v pevnou strukturu.

Přebytek sádrovce způsobuje tvorbu ettringitu, která probíhá ještě po ukončení tuhnutí, takže může zapříčinit nekontrolovatelné rozpínání s následným rozrušením mikrostruktury cementové pasty. [2]

Závěrem lze shrnout, že cementářská praxe nemá dosud lepší regulátor tuhnutí než sádrovec, a že zlepšování cementů záměrným vývinem ettringitu není ještě dosti využito. [3]

2.2 Vliv sádrovce na vlastnosti cementu

Vývin mikrostruktury pasty v počátečním období hydratace znázorňuje následující obrázek. Byly použity dva druhy slinku, jeden s nízkou a další s vysokou reaktivitou.

REAKTIVITA	OBSAH SÍRANU V ROZTOKU	DOBA HYDRATACE		
		10 MIN	3H	7H
		REKRYS TALIZACE ETTRINGITU		
I.	NÍZKÁ			
II.	VYSOKÁ			
III.	VYSOKÁ			
IV.	NÍZKÁ			

Obrázek 3: Vývin struktury v závislosti na reakční schopnosti C_3A a na množství síranů v roztoku [2]

E- ettringit
M- monosulfát
GS- sekundární sádrovec
P- plastická pasta
PZ- polozatuhlá pasta
Z- zatuhlá pasta

Níže jsou uvedeny popisy hydratace znázorněné na obrázku č. 3.

Příklad I. – Byl použit slinek obsahujícího málo reaktivní C_3A a nedostatečné množství sádrovce, po krátké hydratační době vzniká na povrchu cementových částic tenká vrstva krystalů ettringitu. Vzhledem k menšímu podílu ettringitu a malé velikosti krystalů, které nemohou „přemostovat“ prostor mezi slinkovými částicemi, tuhnutí cementové pasty nastává v pozdějších časových fázích.

Příklad II. – Při vyšší reakční schopnosti C_3A a relativně vysoké koncentraci síranových iontů v roztoku vzniká výraznější množství ettringitu již v prvním časovém období. Vrstva ettringitu na cementových částicích je silnější a vzhledem k větší velikosti krystalů je možno pozorovat, že některé z nich „přemostňují“ prostor mezi částicemi slinku již po 1 hodině a vzniká „semiplastický“ stav, který po 3 hodinách přechází do pevné struktury. Vzhledem k množství krystalů a počtu srůstů se vyznačuje vyššími fyzikálně-mechanickými parametry.

Příklad III. – V případě vysoké reaktivity C_3A a nízkého podílu síranů v roztoku zreaguje na počátku pouze část do roztoku přešlého C_3A na ettringit, vytvářející tenkou vrstvu kolem částic slinku. Vedle toho vzniká monosulfát a tetrakalciumaluminát-hydrát v podobě tabulkovitých krystalů v prostoru mezi cementovými částicemi. V důsledku toho se vytváří již v prvních časových fázích pevná struktura, vedoucí k jistému zpevňování systému.

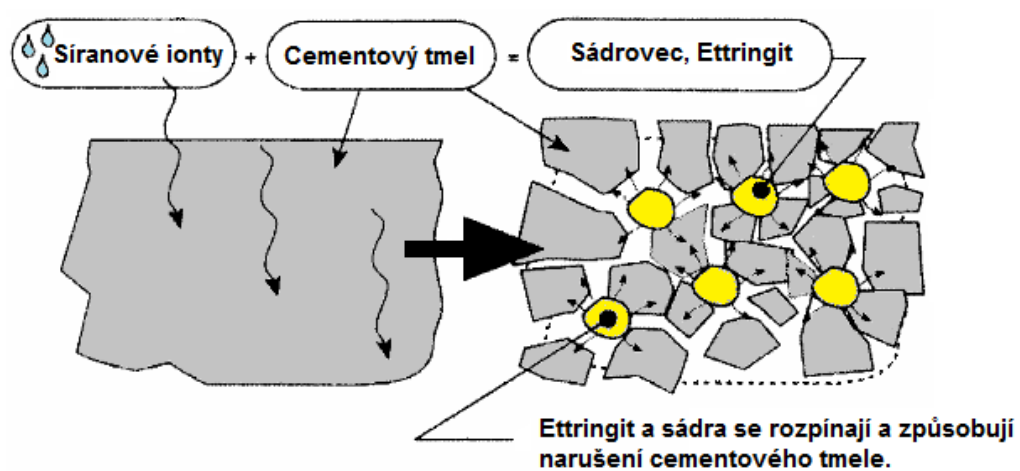
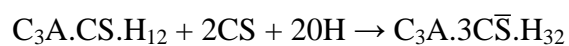
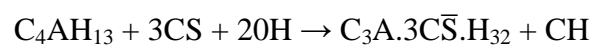
Příklad IV. – Při hydrataci cementu vykazující málo reaktivní C_3A a poměrně vysoký obsah síranů v roztoku se vytváří velmi rychle tenká vrstva krystalů ettringitu na povrchu cementových částic. Vzhledem ke skutečnosti, že vysoký obsah síranů v kapalně fázi není reakcí s C_3A podstatněji snížen, dochází ke vzniku „sekundárního sádrovce“ v podobě tenkých a dlouhých laťkovitých krystalů, které prorůstají strukturou a zpevňují ji natolik, že po krátké době hydratace nastává zatuhnutí cementové pasty. Je to v podstatě „falešné tuhnutí“ cementu. [2]

2.3 Ettringit jako důsledek síranové koroze betonů

Velký počet pracovišť po celém světě se věnuje tzv. opožděné tvorbě ettringitu. Nezřídka dochází k masivní tvorbě ettringitu působením síranů buď obsažených ve ztvrdlém betonu jako síran vápenatý anebo reakcí s ionty SO_4^{2-} z vnějšího zdroje např. kyselými dešti. [22] Při reakci síranů s cementovým tmelem dochází k tvorbě látek se zvětšeným objemem, což se zpočátku projevuje zvýšením pevnosti a hutnosti a tím i nepropustnosti betonu. Další zvětšování jejich objemu však vede ke vzniku trhlinek až k úplnému rozrušení betonu.

Podmínky ke vzniku ettringitu nastanou, proniknou-li ionty SO_4^{2-} do ztuhlého betonu, z něhož se vyluhují hlinitany vápenaté. V průlincích betonu nastává pak krystalizace za zvětšení objemu. To představuje tak silný tlak, že mu ani nejpevnější beton neodolá, a vrstva nasáklá roztokem síranu, se rozpadne. Teprve potom může roztok síranu vzlínat do dalších vrstev betonu a pochod pokračuje zvolna, ale neúprosně dále. Nukleační schopnost ettringitu je totiž velká, kdežto krystalizační rychlost malá. Právě proto bylo postupné rozrušování betonu, které po té, co započne nelze zastavit, nazýváno cementovým bacilem. [3]

Reakční mechanismus vzniku ettringitu, v důsledku síranové koroze je možno znázornit následujícími reakcemi:



Obrázek 4: Princip síranového rozpínání [15]

3 Historie pojivových koncepcí s účelovou tvorbou ettringitu

Předmětné výrobky, typu samonivelačních potěrů a stěrek, bezprostředně svou pojivovou koncepcí souvisí s dlouhodobými snahami přípravy rozpínavých (expanzních) resp. nesmrštivých pojiv. Počátky vývoje těchto pojiv a některé použité koncepce mohou být do současnosti velmi inspirativní, ať již pro předmětné podlahové materiály tak i pro další výrobové skupiny stavebních materiálů resp. tzv. stavební chemie. [16]

3.1 Období z přelomu poloviny 20. století

Cenným zdrojem informací o počátcích pojiv, s účelovou tvorbou ettringitu, je publikace prof. BÁRTY [3]. První objevy, a výrobně – technické postupy těchto pojiv se týkají vodotěsných, rozpínavých a nesmrštivých cementů.

Objev prvního expansivního cementu je přičítán PÉRRĚMU (Francie, 1932), který současně za mokra semlel směs 50% sádrovce, 25% bauxitu a 25% křídly, která byla společně slinována a mleta. Takto vzniklé sulfoaluminátové pojivo bylo míseno s portlandským cementem a vysokopecní struskou jako stabilizátorem rozpínání. Výsledný rozpínavý cement byl používán pro vodní stavby s podmínkou dostatečného přístupu vody během min. prvních 14 dní.

MICHAJLOV (SSSR, 1942) vyrobil rozpínavý cement smísením min. 65% hlinitanového cementu s min. 22% polohydrátové sádry a s přidavkem vysokozásaditého hydrátu vápenato-hlinitého.

SCHERNKER a SHANN (USA, 1949) si patentovali výrobu rozpínavého cementu z portlandského cementu a 5-20% rozpínavé přísady, tvořené ekvimolární směsí alkalického hlinitanu nebo hydroxidu hlinitého, sušeného při 200°C nebo síranu hlinitého s povrchově adsorbovaným silikagelem se sádrovcem a hydrátem vápenatým.

BUDNIKOV (SSSR 1941-42) připravil směsnou maltovinu označenou jako AG cement (zkratka pro označení anhydritu-hlinitanový cement) společným semletím 70-75% hlinitanového slinku nebo hlinitanové vysokopecní strusky s 25-30% anhydritu II. Přesto, že byl cement určen na všechny betonové a železobetonové konstrukce, tak se svými vlastnostmi (poč. tuhnutí 20 min., 75% konečných pevností po 7 dnech, nepatrné smrštění) velice podobá současným pojivům pro samonivelační podlahové hmoty.

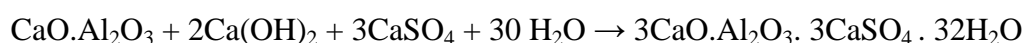
BÁRTA ve své publikaci [3] shrnuje řadu poznatků a podmínek pro efektivní a účinnou tvorbu ettringitu, doprovázenou, požadovaným rozpínacím účinkem:

- topochemický průběh reakce (reakce iontů v roztoku nebo molekul vody s pevnou hmotou či krystalem)
- vedle nutné přítomnosti základních složek (CaO, Al₂O₃, CaSO₄ a H₂O) stanovuje minimální hranice jejich koncentrací v roztoku
- upozorňuje na nežádoucí látky, snižující obsah stavebních složek ettringitu (uhličitany a CO₂, snižující koncentraci CaO, alkálie a alkalické soli, snižující koncentraci CaSO₄, rozpustné soli Mg, snižující koncentraci Ca(OH)₂ a rozkládající ettringit)
- teplota při vzniku ettringitu nesmí překročit +40°C, neboť se vzrůstem teploty vzrůstá jeho sklon k dehydrataci [16]

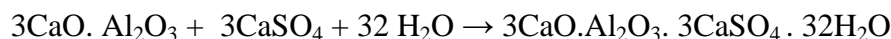
3.2 Období 60. let 20. století

Dané období znamenalo objevy zásadního významu, na kterých stojí do značné míry výroba „ettringitových pojiv“ do současnosti.

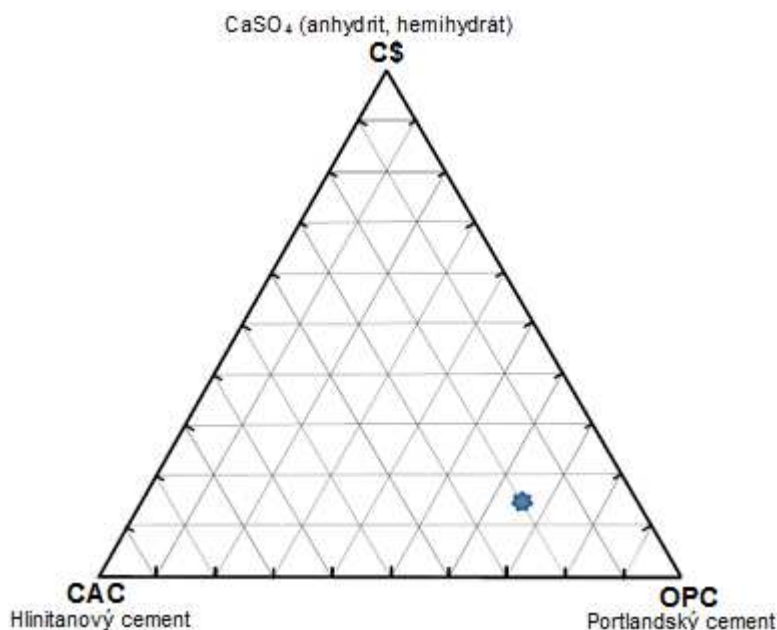
Odborné prameny [7,8] se shodují na významném přínosu MICHAILOVA (SSSR, 1960) a následně BUDNIKOVA a KRAVČENKA (SSSR, 1968) s jejich kombinací portlandského cementu, hlinitanového cementu a sádry nebo hemihydrátu, v poměru 66:20:14, při přípravě expanzního cementu, označovaného v USA jako **“M cement”**. Za prioritní reakce tvorby ettringitu z hlediska zdroje Al³⁺ složky v “M cementech” je považována reakce kalcium-aluminátu (CA), přítomného v hlinitanovém cementu:



Někteří autoři [9] připouští současně možnost tvorby ettringitu za účasti trikalciium aluminátu (C₃A), obsaženého v portlandském cementu:

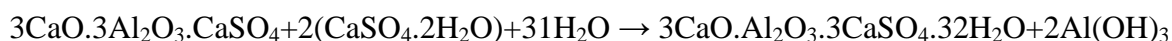


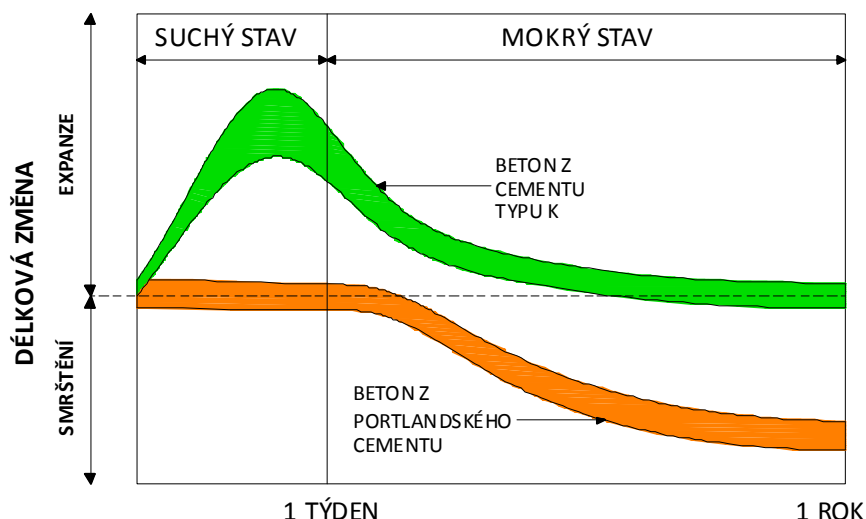
Přestože **„M cement“** byl vyvinut především ke zvýšení produktivity práce ve výrobě prefabrikovaných prvků, stala se tato pojivová koncepce posléze v 70. letech min. století základem tzv. ternárních pojivových systémů samonivelačních podlahových hmot. V daném poměru pojivových složek, jak je navrhl MICHAILOV, jsou označovány jako ternární pojivové systémy, s majoritou portlandského cementu. Polohu Michailovovy koncepce vzájemného poměru pojivových složek zobrazuje následující graf. [16]



Graf 1: Michailova koncepce pojivových složek v expanzních cementech typu „M“

Dalším významným počinem v dané době, s trvalým přesahem do současnosti, se stal objev, který učinil KLEIN (USA. 1966), v přípravě nového typu expanzního cementu, na bázi slinku, s majoritou kalcium-sulfo-aluminátu $3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$, zkráceně $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$. Minerál je často nazýván po svém objeviteli jako Kleinův komplex nebo také kleinit, případně též dle své přírodní mineralogické verze jako Ye'elimite. Expanzní cement na bázi daného slinkového minerálu, který dostal označení „**K cement**“ je možno připravit dvěma způsoby. V prvním případě se nejprve odděleně připraví $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ výpalem směsi bauxitu, síranu vápenatého a vápence v rozmezí teplot $1250\text{--}1350^\circ\text{C}$. Případně jej lze též připravit, jako slínek, z obdobných surovin, kdy mimo hlavní složky $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$, obsahuje též menší podíl dalších slinkových minerálů (alit, belit, C_4AF , anhydrit a volné vápno). Takto připravená složka se mele se slínkem portlandského cementu a jistým podílem sádrovce resp. anhydritu. Čím větší je požadována rozpínací schopnost, tím větší množství zmíněných složek je nutno k portlandskému cementu přidat. V druhém případě je možno rozpínavý cement typu „K“ připravit jediným společným výpalem surovinové směsi vhodného složení. Slinek pak obsahuje vedle hlavní fáze $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$, menší podíl belitu a dalších slinkových minerálů, kromě alitu, který nemůže kvůli relativně nízké teplotě výpalu ($1200\text{--}1250^\circ\text{C}$) vzniknout. Semletím tohoto slinku s vhodným přídavkem sádrovce nebo anhydritu lze získat rozpínavé pojivo požadovaných vlastností. Smícháním pojiva s vodou dochází k reakci za vzniku ettringitu, který je příčinou rozpínavého efektu. [16]





Obrázek 5: Schéma objemových změn betonu z expanzního cementu „Typ K“ a betonu z portlandského cementu

Materiál „Typ K – cement concrete“ na obrázku představuje z hlediska charakteru pojiva, analogii samonivelačních stěrek na bázi směsného pojiva, tvořeného majoritou portlandského cementu s přídavkem kalcium-sulfo-aluminátového slinku a sádry (PC-C\$A-C\$), jak již bylo uvedeno. Obrázek znázorňuje zidealizovaný průběh objemových změn, kdy míra expanze plně kompenzuje následné smršťování během zrání a konečná objemová změna materiálu je nulová. V závislosti na poměru pojivových složek však konečný stav může skončit v kladné oblasti objemových změn, tzn. expanze, nebo naopak může být objemová změna (nárůst) nedostatečná a výrobek se v konečném stádiu smrští.

Podstatou objemové stability resp. objemového nárůstu směsných cementových pojiv s obsahem sádry je časově i kvantitativně přiměřený vznik ettringitu:

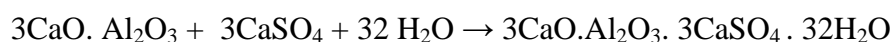


Dané pojivové koncepce lze tudíž označit jako materiály s účelovou tvorbou ettringitu. Jelikož při časně tvorbě ettringitu, která je cíleně vyžadována ve fázi tuhnutí a tvrdnutí hmoty, dochází k rychlému nárůstu pevností, lze předmětné pojivové koncepce s účelovou tvorbou ettringitu, s přihlédnutím k výše zmíněným objemovým změnám, nalézt ve skupinách materiálů:

1. rychle-tuhnoucí materiály
2. expanzní materiály
3. materiály s kompenzovaným smrštěním resp. nesmršlivé materiály
4. self-stressing - materiály s vlastní schopností předpětí [16]

„K cement“ představuje doposud nejrozšířenější a nejužívanější typ expanzního cementu v USA. Jak uvádí TAYLOR [7] typ „K“ expanzního cementu, vyráběný společným výpalem s portlandským slinkem, tzn. s minimálním nebo nulovým podílem trikalciumaluminátu C_3A , a s obsahem nad 6% SO_3 odolává chemickým účinkům síranů, na rozdíl od zmíněného typu „M“ resp. následně popisovaného typu „S“. Je nutno poznamenat, že analogií „K cementu“ jsou nové pojivové koncepce samonivelačních hmot, objevující se v Evropě až v druhé polovině první dekády nového tisíciletí. Tyto koncepce na bázi kalcium-sulfo-aluminátu C_4A_3S představují velmi nadějnou alternativu proti stávajícím ternárním koncepcím, pracujícím se směsí portlandského a hlinitanového cementu se sádrou.

„S cement“ je posledním z trojice expanzních cementů, jak je v USA definuje národní norma ASTM C 845. Vyrábí se ze silikátového slinku se zvýšeným obsahem C_3A , semletím s odpovídajícím podílem sádrovce, jehož množství je vyšší než u normálního portlandského cementu. Tvorbu ettringitu u tohoto typu expanzního cementu, za účasti majoritního slinkového minerálu C_3A a sádry, popisuje rovnice:



Daný typ expanzního cementu nenašel významnější uplatnění, vzhledem k obtížné regulovatelnosti mechanismu expanze. [16]

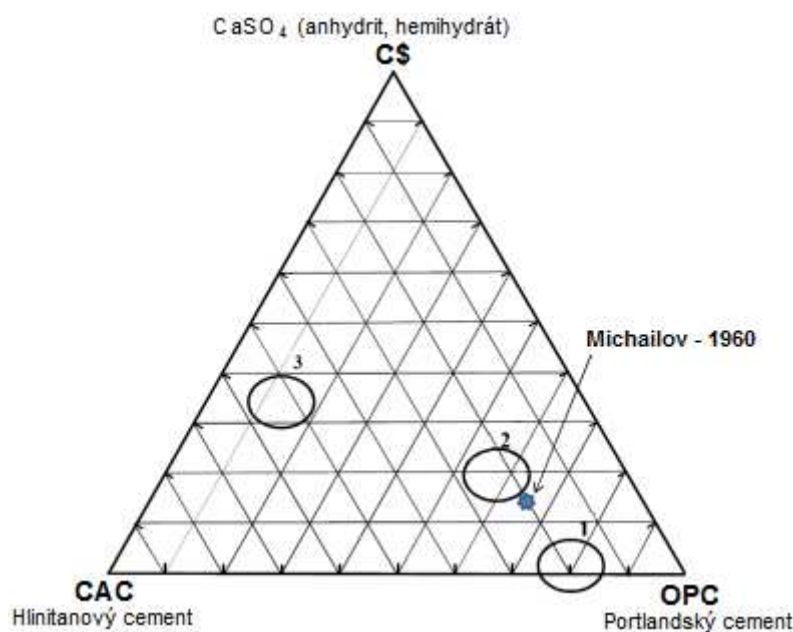
4 Současnost pojivových koncepcí s účelovou tvorbou ettringitu

4.1 Ternární pojivové koncepce PC-CAC-C\$

Praktické využití ternární pojivové koncepce směsného pojiva portlandského cementu (PC), hlinitanového cementu (CAC) a vhodné formy sádry (C\$) k výrobě samonivelačních stěrek začalo v Evropě v 70. letech min. století ve Švédsku a ve Velké Británii, a dlouho bylo výsadou pouze těchto zemí, odkud byly výrobky importovány do ostatních evropských zemí.

Zesílená osvěta výrobců pojivových složek, zejména hlinitanových cementů, přinesla rozšíření tohoto technologického know-how do dalších zemí Evropy. Významnou událostí z tohoto hlediska byla konference Calcium Aluminate Cements v Edinburgu v r. 2001 [10], která shrnula tehdejší teoretické i praktické poznatky z dané oblasti.

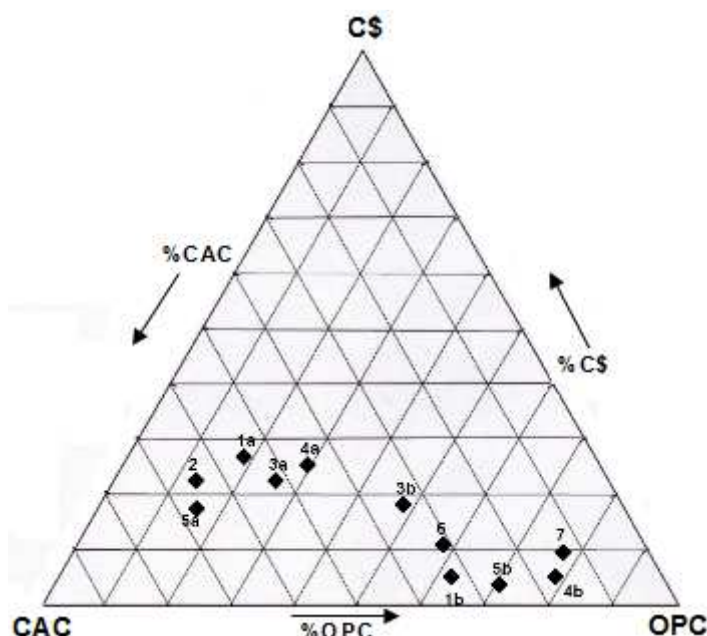
AMATHIEU a kol. [10], vymezují v pseudoternárním diagramu “PC-CAC-C\$“ 3 zóny možného mísení těchto složek, kdy kromě zóny č. 2 (velice blízké koncepci expanzního cementu dle Michailova), vymezují též zónu č. 3 tzn. koncepci s majoritou hlinitanového cementu a zónu č. 1, která se týká prostého mísení portlandského cementu s malým přídavkem hlinitanového cementu k urychlení tuhnutí výsledné pojivové směsi. Zóna č. 1 nezajišťuje dostatečnou objemovou stabilitu samonivelačních hmot a je určena pouze pro některé typy urychlených výrobků (spárovací hmoty, fixační malty apod.). [16]



Graf 2: Použitelné ternární pojivové koncepce PC-CAC-C\$ dle Amathieu a kol. [10]

Ternární pojivové koncepce mísení PC-CAC-C\$ ať již s majoritou portlandského nebo hlinitanového cementu představují doposud nejrozšířenější model pojivové skladby

samonivelačních podlahových stěrek na bázi účelové tvorby ettringitu. Konkrétní výrobní receptury jsou však vždy záležitostí praktických zkoušek a ověřování. Jak je zřejmé z doporučených směrných receptur některých výrobců pojiv a aditiv, existuje stále široká paleta názorů na optimalizaci pojivové skladby typu PC-CAC-C\$. [16]



doporučuje	majorita CAC	majorita OPC
Perstorp	1a	1b
Lafarge	2	
Heidelberger _{CA}	3a	3b
Rhodia	4a	4b
BASF	5a	5b
Elotex		6
DOW		7

Pzn: oproti používané symbolice v této práci v daném grafu OPC značí portlandský cement (PC) a Cs znamená CaSO₄ (anhydrit, hemihydrát) -C\$

Graf 3: Směrné receptury ternární pojivové koncepce PC-CAC-C\$

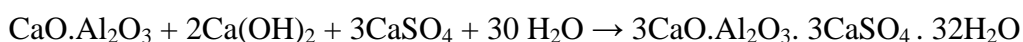
4.2 Ternární a pseudobinární pojivové koncepce PC-C\$A-C\$

V posledních cca 5 letech se na evropském trhu objevují pojiva na bázi kalcium-sulfo-aluminátových slinků (C\$A) a to jednak min. od dvou evropských producentů a pak jako import z Japonska a Číny. Název této kapitoly odráží variabilitu jejich forem dávkování. Jak již bylo uvedeno v části o expanzních „K cementech“, lze materiály tohoto typu na bázi C\$A slinků vyrábět v několika formách:

1. samostatný C\$A slinek, který výrobce např. samonivelační stěrky mísí ve finální výrobě s optimálním množstvím portlandského cementu, sádry a s ostatními surovinovými složkami – pojivovou koncepci lze v daném případě označit jako ternární

2. premix C\$A slinku a sádry (obvykle anhydritu) který se ve výrobě mísí s portlandským cementem a s ostatními surovinovými složkami – pojivovou koncepci lze v daném případě označit jako binární resp. Pseudobinární.

Chemická reakce vzniku ettringitu, v případě pojivových koncepcí na bázi kalcium-sulfo-aluminátového slinku tzn. s Kleinovým komplexem C₄A₃\$ je popsána rovnicí:

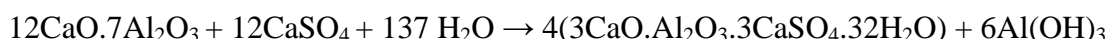


Nutno dodat, že zejména v nabídce importérů z Číny se objevují i hotové směsi expanzních nebo nesmrštivých pojiv resp. hotové produkty např. typu samonivelačních stěrek. [16]

4.3 Binární pojivová koncepce CA-C\$

V letošním roce byla na evropský trh uvedena pojivová koncepce na bázi nově vyvinutého kalcium-aluminátového slinku (CA), který se mísí v doporučeném poměru (2:1) se sádrou (C\$). Použití další pojivové složky (PC, CAC) se již nepředpokládá. Změnou objemu pojivové směsi v uváděném doporučeném dávkování od 8%:4% až po 20%:10% (vztaženo na celkovou hmotnost výrobní směsi) lze, dle údajů výrobce, měnit konečné pevnostní parametry výrobku při zachování jeho objemové stability. Nový CA-slinek je určen výhradně pro předmětné výrobky typu samonivelačních potěrů a stěrek.

Provedené RTG analýzy prokázaly, že hlavním slinkovým minerálem daného pojiva je mayenite ($C_{12}A_7$), identifikovaný doposud v hlinitanových cementech ve stopovém množství. Průběh vzniku ettringitu z mayenite a anhydritu lze popsat níže uvedenou rovnicí:



Daná pojivová koncepce se vedle zřejmé jednoduchosti v dávkování pojivových složek vyznačuje též výrobcem deklarovanou ztekutitelností, tzn., že pro dosažení potřebných rozlivových vlastností nevyžadují samonivelační hmoty na bázi tohoto pojiva přidavek plastifikátoru. Zda se jedná o zcela mimořádnou vlastnost pojiva nebo byl plastifikátor k pojivu již přimíchán, je jednou z otázek kolem tohoto nového pojiva. [16]

5 Výrobní skupiny na pojivové koncepci s účelovou tvorbou ettringitu

5.1 Kotvící a zálivkové hmoty

Kotvící hmoty na bázi vysokopevnostních cementů jsou malty řídké konzistence, které se používají k ukotvení různých prvků (ocelových nebo betonových) k okolnímu materiálu nebo k vyplnění otvorů a dutin, kam lze materiál nalít nebo načerpat. Řídká konzistence a nárůst objemu v plastické fázi garantují spolehlivé vyplnění otvorů a dutin složitých tvarů.

Předními vlastnostmi těchto hmot jsou velmi dobrá přilnavost, vodotěsnost, mrazuvzdornost a odolnost proti solím a rozmrazovacím látkám. Kotvící malty bez smrštění vykazují vysoké pevnosti již za 24 hodin (40-50 MPa v tlaku) a vysoké koncové pevnosti za 28 dní (90-105 MPa). [5]

Používají se pro kotvení a podlévání strojů s velkým statickým a dynamickým namáháním kotev (turbíny, generátory, kompresory, ...), pro kotvení patních desek nosných konstrukcí, ocelových podpěr, mostních ložisek a mnohých dalších.

Většinou se jedná o jednokomponentní předmíchanou směs dodávanou v suchém práškovém stavu.

Zálivkové hmoty pro svou jednoduchost a aplikaci dovolují dosáhnout v minimálním čase profesionálních výsledků. Kromě vysokých jakostních parametrů čerstvé směsi (kdy je zajištěna stabilita i při největší tekutosti, bez krvácení, stabilita objemu a vyplnění zalévaného prostoru řízeným bobtnáním v plastické fázi) a finálních vysokých pevností v tlaku, tahu a ohybu, lze použitím rychletvrdnoucích směsí zajistit extrémně rychlý postup prací. Zalévané či montované prvky lze pak podrobit předpokládanému zatížení již v průběhu několika málo minut/hodin.[6]

5.2 Spárovací hmoty

Spárovací hmoty se podle použitých surovin k výrobě dělí na cementové, silikonové, epoxidové, akrylátové a polyuretanové. Cementové spárovací hmoty řadíme mezi tradiční výplňové hmoty určené k běžnému spárování nezátěžovaných prvků, které nejsou vystaveny mechanickým a chemickým vlivům. Jejich předností je dostatečná doba zpracovatelnosti, velmi snadné čištění, tuhnutí bez trhlin, možnost vyspárování do šířky až 15 mm, vodovzdornost a mrazuvzdornost. Pevnější a pružnější cementové spárovací hmoty dosáhneme přidávkou speciálních polymerních látek. Získáme tím více flexibilní hmotu vhodnou pro náročnější aplikace.

Spárování je důležitou činností, která má také vliv na celkový vzhled celého díla.

5.3 Lepicí hmoty

Lepicí hmoty jsou tekuté nebo tuhé látky, které mají vysokou vnitřní soudržnost a přilnavost k povrchu lepeného materiálu. Na základě těchto vlastností mají schopnost trvale a pevně spojit povrchy stejných nebo rozdílných materiálů adhezními a kohezními silami. Předností lepení je možnost spojit stejné nebo různorodé materiály bez ohledu na jejich tloušťku. Důležitým hlediskem pro výběr lepidla a technologie lepení jsou vlastnosti lepeného souboru požadované při jeho použití. Jsou to nároky na mechanickou pevnost, tepelnou odolnost, chemickou stálost, vodovzdornost spoje, odolnost vůči vlivům povětrnosti apod.

V principu rozeznáváme dva typy lepicích hmot, a to malty a lepidla.

Malta je směs hydraulických (cementových) pojiv, minerálů a jiných organických přísad v suchém, převážně práškovém stavu. V praxi postačí jejich pouhé smísení s vodou, kdy vznikne plastické těsto, nazývané malta (s jemnozrnným plnivem), někdy i pasta (bez plniva).

Lepidla jsou pouze polymerní lepicí hmoty samotné nebo s plnivem. Disperzní lepidla tvoří hotové homogenní směsi z organických pojiv ve formě vodní disperze a minerálních přísad. Vytvrzování probíhá postupným odpařováním vody obsažené v lepidle, respektive případným sesítováním. Lepidla na bázi reaktivních pryskyřic se skládají z polymerních pryskyřic, minerálních a organických přísad. Bývají většinou vícesložková a vytvrzování probíhá na základě chemické reakce. [4]

5.4 Správkové hmoty

Úkolem správkových hmot je reprofilovat betonové konstrukční prvky do původního tvaru, respektive obnovit nebo zvětšit tloušťku krycí vrstvy nad výztuží, případně statisticky zesílit konstrukci. Správková hmota slouží především k obnovení trvanlivosti betonových prvků a k jejich vzhledovému uvedení do původního stavu. V případě, že správková hmota má vytvořit vrstvu zesilující betonový prvek, je třeba na to v projektu sanace zvláštním způsobem upozornit a současně navrhnout taková opatření, která by účinně zajistila statické spolupůsobení původního betonu a správkových hmot. Ve zvlášť významných případech se doporučuje ověřit toto statické spolupůsobení zvláštními zkouškami. [11]

Pro volbu vhodného materiálu je nutné plně pochopení chování materiálu v nevytvrzeném i vytvrzeném stavu za očekávaných podmínek provozu a prostředí. Z tohoto

hlediska jde hlavně o objemové změny ve vztahu k podkladu. Tyto změny vyvolávají vnitřní napětí ve správkové hmotě i uvnitř původní hmoty.

Správkové malty vzhledem k účelu svého použití musí splňovat zejména tyto požadavky:

- Vysokou soudržnost s podkladem
- Dobrou vodotěsnost
- Vysokou mrazuvzdornost
- Minimální objemové změny v důsledku změn vlhkosti a teploty
- Omezený vznik smršťovacích trhlin
- Co nejnižší modul pružnosti
- Pevnost v tlaku, respektive v tahu za ohybu na shodné nebo mírně vyšší úrovni než podkladní beton
- Odolnost proti agresivním médiím podle konkrétních podmínek expozice [11]

5.5 Podlahové hmoty

Podlahové hmoty mohou být určeny jako vyrovnávací vrstvy, které se musí ještě opatřit další nášlapnou vrstvou, nebo to mohou být hmoty určené ke zhotovení finálního povrchu podlahy. Výsledná bezespárost je často klíčovým uživatelským parametrem v potravinářství či zdravotnictví, jelikož bezespáré podlahy se snadno udržují v čistotě. V chemickém průmyslu mohou bezespáré podlahy plnit funkci chemicky odolné izolace. Bezespáré podlahoviny, prováděné z různých vytvrditelných materiálů přímo na stavbě, představují velmi produktivní technologii, protože ukládání vrstvy podlahové hmoty na vodorovný podklad je relativně rychlé.

Zejména u rodinných domů se dosud používají „betonové“ podlahy z cementové mazaniny, a to se všemi nevýhodami, které tento materiál s sebou nese. Pracnou a pomalou pokládku včetně dopravy „kolečky“ a ruční srovnání do roviny, jejíž dosažení bývá často problematické, také nutnost pokládat vyšší vrstvu materiálu a vyztužovat jej ocelovými sítěmi. Tyto nevýhody „betonových“ podlah řeší právě moderní lité podlahy, kdy se podlahová směs ukládá – lije pomocí čerpadel. Pokládka je tak nesrovnatelně rychlejší, lité podlahy mají většinou samonivelační účinek a není problém dosáhnout s nimi téměř ideální rovinnosti. Z litých podlah se stále více prosazují tzv. anhydritové lité potěry na bázi síranu vápenatého. Vrstvy litých podlah lze pokládat v síle již od tří centimetrů. [12]

6 Samonivelační podlahové stěrky

V současné době představují jedny z nejmodernějších stavebních materiálů, spojující v sobě vlastnosti klasických stavebních hmot s přínosy, danými obsahem nových aditiv. Vytváří konečnou zpevňující a vyrovnávací vrstvu na starých i nových podkladech s nedostatečnou povrchovou rovinatostí a mechanickou odolností nebo rychle opraví lokální i celoplošné betonové a keramické podlahy poškozené výtluky, otěrem a prasklinami. Používají se však také k zalévání topných kabelů a rohoží elektrického podlahového topení.

Samonivelační stěrky, jako suché stavební směsi, patří mezi relativně mladé a moderní materiály na tuzemském stavebním trhu. Zatímco v západní Evropě a ve Skandinávii existují na trhu více než 35 let, u nás se objevují v druhé polovině 90. let min. století. Nejprve jsou dováženy od zahraničních výrobců, s rozvojem výroby suchých stavebních směsí v tuzemsku se od konce 90. let začínají vyrábět také u nás. V posledních letech se staly samozřejmostí při vyrovnávání povrchů, před pokládkou podlahových krytů především v občanské výstavbě. [13]

6.1 Specifikace pojmů

Předmětné výrobky typu samonivelačních potěrů a stěrek nejsou ve všech světových jazycích jednoznačně rozlišitelné. Při studiu podkladů jejich pojivových koncepcí se popis a charakteristiky pojiv resp. výrobků často nachází v různě vymezených a nazvaných skupinách, což může komplikovat studium poznatků o těchto materiálech. Z uvedených důvodů je vhodné si předmětné výrobky blíže specifikovat, a vymežit materiálové a funkční oblasti jejich zařazení. [16]

Samonivelační stěrky jsou dnes klasifikovány dle ČSN EN 13813-2003 Potěrové materiály a podlahové potěry, to znamená, že jsou zahrnuty do jedné výrobní skupiny s běžnými cementovými potěry, ale i samonivelačními potěry na bázi síranu vápenatého. Ve smyslu tradičního chápání členění podlahových vrstev dle tloušťky a způsobu aplikace se však samonivelační stěrky především od běžných cementových potěrů významně liší hlavně materiálovým složením, obvyklou aplikační tloušťkou a způsobem aplikace. [13]

Tabulka 2: Základní odlišnosti mezi stěrkami a potěry [13]

Materiál	Obvyklá tloušťka	Typ	Materiálové složení pojiva	Způsob aplikace
Samonivelační stěrky	5 - 15 mm	cementové	OPC+CAC+SO ₄ ⁻² +RPP (<2%)	strojní nebo ruční lití
		polymer-cementové	OPC+CAC+SO ₄ ⁻² +RPP (>2%)	
		sádrové	anhydrit/α-hemihydrát	
Potěry	15 - 60 mm	cementové	OPC (RPP)	rozprostření/vibrace
		sádrové	anhydrit/hemihydrát	strojní nebo ruční lití

Vysvětlivky: OPC – portlandský cement, CAC – hlinitanový cement, SO₄⁻² – zdroj síranových aniontů (anhydrit, α-hemihydrát), RPP – redispergovatelný polymerní prášek

6.2 Stěrkové nivelační a vyrovnávací hmoty

Rovný, pevný a hladký povrch – to je základ úspěchu při provádění podlahářských prací. Moderní stavebnictví umožňuje docílit takového povrchu prostřednictvím stavební chemie, konkrétně použitím vyrovnávacích hmot pro podlahové systémy. [23]

Vyrovnávací vrstvy (označované též jako vrstvy samonivelační) se vyrábějí buď na cementové, nebo anhydritové bázi.

Cementové stěrkové hmoty jsou nejrozšířenější a používají se na běžné podklady, jako je beton, cementový potěr nebo stávající dlažby, například při rekonstrukcích.

Anhydritové stěrky jsou doporučovány na veškeré stabilní podklady, tedy beton, cementový potěr, anhydritový potěr, původní keramické dlažby, litý asfalt, zbytky starých vodostálých lepidel nebo litých podlah. Obliba anhydritových hmot spočívá v relativně snadném zpracování s eliminací objemových změn. Do popředí vstupuje i ekologický faktor, jehož význam u těchto hmot neustále roste. Nulový vliv na zdraví zpracovatelů i uživatelů posunuje anhydritové stěrky stále více do bytové a občanské výstavby. [25]

Disperzní stěrky jsou zvláštností mezi stěrkovými hmotami, využívají se tam, kde je potřeba vyhladit nestabilní podklad a vytvořit nasákavou vrstvu pro lepidla pod elastické krytiny. Uplatnění najdou i v prostorech, které jsou náchylné na prach nebo klasický mokrá proces. Vlastnosti všech stěrkových hmot lze pak i dále modifikovat.

6.3 Cementové samonivelační hmoty

Jedná se o průmyslově vyráběné cementové směsi, které v sobě spojují vynikající stavebně – fyzikální parametry. Optimální jsou také vlastnosti pro pokládku, kdy odpadá fyzicky těžká tělesná práce, je velmi rychlá a tekutá cementová stěrka zaručuje snadnou zpracovatelnost.

Cementová hmota pro lité podlahy je vyrobena ze směsi hydraulických pojiv (cementu), plniva (drobného kameniva), minerálů a jiných organických přísad, které se před použitím smísí s vodou. Vyskytuje se také v alternativě suché průmyslové (pytlované) malty.

Použití samonivelačních cementových hmot představuje jeden z nových trendů technologie staveb směřující k odstranění časové náročnosti procesů, minimalizaci pracovních sil, zlevnění celého postupu a dosažení vysoké kvality podlah. Jejich použití je výhodné jak při časově omezených rekonstrukcích, tak v nové výstavbě. Tyto materiály se aplikují již od tloušťky 3 mm, a to nejen jako vyrovnávací vrstva v občanské a bytové výstavbě, ale i jako finální povrch pro průmyslové podlahy.

K moderním způsobům realizace hrubých podlah patří především jejich vylití samonivelační cementovou směsí. Výhod provádění podlah touto metodou je hned několik. Především je to velmi krátká doba tuhnutí směsi, kdy takto vytvořená podlaha je pochůzná již po 24 – 48 hodinách a zatížitelná po 4 – 5 dnech. Technologie lití přitom umožňuje proti klasickému způsobu provádění podlah dosažení vysoké produktivity práce a i velké plochy lze pokládat bez provádění dilatačních spár. Cementovou hmotu není nutno armovat a po vytvrdnutí je hladká a bez trhlin od smrštění. Díky vysoké přesnosti a kvalitě povrchu není nutná další úprava.

III. Cíl práce

Samonivelační stěrky na bázi cementových pojiv patří mezi moderní stavební hmoty, které nelze připravit bez účelové tvorby ettringitu, jsou vyráběny především jako sypké směsi či suspenze.

Cílem této diplomové práce bylo posouzení fyzikálně – mechanických vlastností a trvanlivosti pojivových koncepcí na bázi účelového vzniku ettringitu. Bylo třeba navrhnout postup provedení experimentálních prací, vybrat vhodné pojivové koncepce s řízenou tvorbou ettringitu a na základě zjištěných vlastností zvolit neoptimálnější směs určenou k modifikaci vybranými přísadami.

Za účelem sledování trvanlivosti samonivelačních hmot bylo nutné navrhnout vhodná korozní prostředí pro uložení zkušebních vzorků.

Dále bylo potřeba ověřit vlastnosti samonivelačních hmot normovými a alternativními zkouškami a zjistit zda aplikace vybraných přísad přispívá k možnosti zlepšení užitných vlastností.

IV. PRAKTICKÁ ČÁST

7 Metodika práce

Metodika práce je rozdělena do čtyř etap, ve kterých se hodnotí jednotlivé vlastnosti vstupních surovin a výsledných produktů. V rámci praktické části byly u jednotlivých receptur sledovány především ty vlastnosti, které jsou stanoveny normou a dále ty, které zohledňují požadavky firmy LB Cemix, s.r.o.

7.1 I. Etapa: Rozbor vstupních surovin

V první etapě byly na vybraných použitých surovinách provedeny základní fyzikálně mechanické a fyzikálně chemické zkoušky, podávající přehled o jejich složení a struktuře.

7.2 II. Etapa: Návrh jednotlivých směsí a jejich následné zkoušení po uložení v laboratorním a korozním prostředí

Byly namíchány čtyři základní směsi, podle receptur dodaných firmou LB Cemix spol. s.r.o., na kterých byly provedeny zkoušky. Fyzikálně-mechanické vlastnosti všech základních směsí byly následně mezi sebou porovnány. Porovnáním vlastností jsme dostali nejoptimálnější směs vhodnou pro modifikaci v následující etapě.

Návrh korozních prostředí byl inspirován normami ČSN EN, které jsou určeny pro malty a lepidla pro keramické obkladové prvky, protože není k dispozici norma definující vhodná korozní uložení pro sledování trvanlivosti samonivelačních hmot.

V rámci II. etapy byly všechny namíchané směsi uloženy v laboratorním prostředí po dobu 28 dní (s výjimkou vzorků určených ke klimatickému cyklování, které byly uloženy po dobu 14 dní). První sada vzorků byla odzkoušena po této době normového zrání, další sady byly nasazeny do různých typů korozních prostředí.

Na všech směsích byly uskutečněny zkoušky podrobně popsané v kapitole 8. Jedná se o alternativní zkoušku otevřeného času, a dále o zkoušky předepsané normou, tedy zkouška rozlivu, stanovení pevnosti v tahu za ohybu, pevnosti v tlaku a navíc také přídržnosti. U směsí uložených do laboratorního prostředí byly navíc provedeny zkoušky pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku po 1, 7 a 14 dnech.

Jedním z typů korozních prostředí pro zkušební tělesa bylo uložení ve vodě na dobu 21 dní. U takto zatížených těles se poté sledoval pokles pevnosti v tahu za ohybu, pevnosti v tlaku a přídržnost k podkladu.

V rámci sledování vlivu teploty byla další zkušební tělesa uložena v sušárně při teplotě 70°C po dobu 14 dní. Na těchto vzorcích byly provedeny zkoušky pevnosti v tahu za ohybu, pevnosti v tlaku a přídržnost k podkladu.

V dalším korozním prostředí byla sledována mrazuvzdornost zkušebních těles, kdy se ověřovala odolnost proti cyklickému působení mrazu a vlhkosti při 50 cyklech. Po vyjmutí z prostředí byly opět provedeny zkoušky pevnosti v tahu za ohybu, pevnosti v tlaku a přídržnost.

Posledním typem prostředí bylo teplotně-vlhkostní namáhání v klimatické komoře, které je určeno pro zkoušení ETICS (External Thermal Insulation Composite Systém) dle ETAG 004. Klimatické cyklování spočívalo v nárůstu teploty na 70°C během 1 hodiny a udržování této teploty při relativní vlhkosti 10% po dobu 2 hodin. Další hodinu byly vzorky vystaveny postřiku vodou o teplotě 15°C a intenzitě 1 l/m² za minutu. Jako poslední byla fáze klidu trvající 2 hodiny při teplotě 20°C. Takto proběhlo celkem 80 cyklů během 20 dnů. Zkušební tělesa byla opět odzkoušena na pevnost v tahu za ohybu, pevnost v tlaku a na přídržnost.

Bylo provedeno srovnání zjištěných hodnot všech čtyř směsí, na základě kterého byla vybrána nejvhodnější směs do etapy číslo III.

7.3 III. Etapa: Modifikace vybrané směsi a její následné zkoušení po uložení v laboratorním a korozním prostředí

Na základě hodnot získaných ve II. etapě byla vybrána receptura s nejvhodnějšími vlastnostmi pro její modifikaci. Zvolená směs se ve III. etapě stala směsí referenční (Io). U této referenční směsi byla provedena částečná náhrada vápence za vybrané typy přísad. Jedná se o přísady Stachesil, Metaver I – I Meta 4 a Microsit M10, které jsou podrobněji popsány v kapitole 9. Množství a poměr přísad byl stanoven s ohledem na fyzikálně-mechanické vlastnosti získané ve II. etapě.

Navrženy a odzkoušeny byly 4 varianty (Ia, Ib, Ic, Id), u kterých byly následně provedeny alternativní zkouška otevřeného času a zkoušky požadované normou, tedy zkouška rozlivu, stanovení pevnosti v tahu za ohybu, pevnosti v tlaku a navíc také přídržnosti.

V rámci III. etapy byly všechny namíchané směsi uloženy v laboratorním prostředí na dobu 28 dní. První sada vzorků byla odzkoušena po této době normového zrání, další sady

byly nasazeny do různých typů korozních prostředí. Korozní prostředí pro uložení zkušebních těles jsou stejná jako ve II. etapě, pouze teplotně-vlhkostní namáhání v klimatické komoře, které dá se říct, působilo na vlastnosti zkušebních těles „blahodárně“ bylo nahrazeno „drastičtější“ uložení v teplé vodě. Toto uložení probíhalo 21 dní v sušárně, do které byla vložena nádoba s vodou o teplotě 70°C. Nádoba byla zajištěna, aby se voda nevypařovala vlivem vysokých teplot. V takto zabezpečeném systému byla uložena zkušební tělesa, která se následně zkoušela na pevnost v tahu za ohybu, pevnost v tlaku a přídržnost k podkladu. Další změna, která nastala oproti předchozí etapě, bylo uložení vzorků ve vodě, místo původních 21 dní na 28.

Výsledné hodnoty modifikovaných směsí byly mezi sebou porovnány, aby se zjistil vliv použitých přísad na fyzikálně-mechanické vlastnosti a trvanlivost vzorků po uložení v korozním prostředí. Rovněž bylo provedeno srovnání těchto modifikovaných směsí se směsí referenční pro ověření předpokladu, že použití aditivních přísad omezuje pokles hodnot fyzikálně-mechanických vlastností vzorků uložených v korozním prostředí.

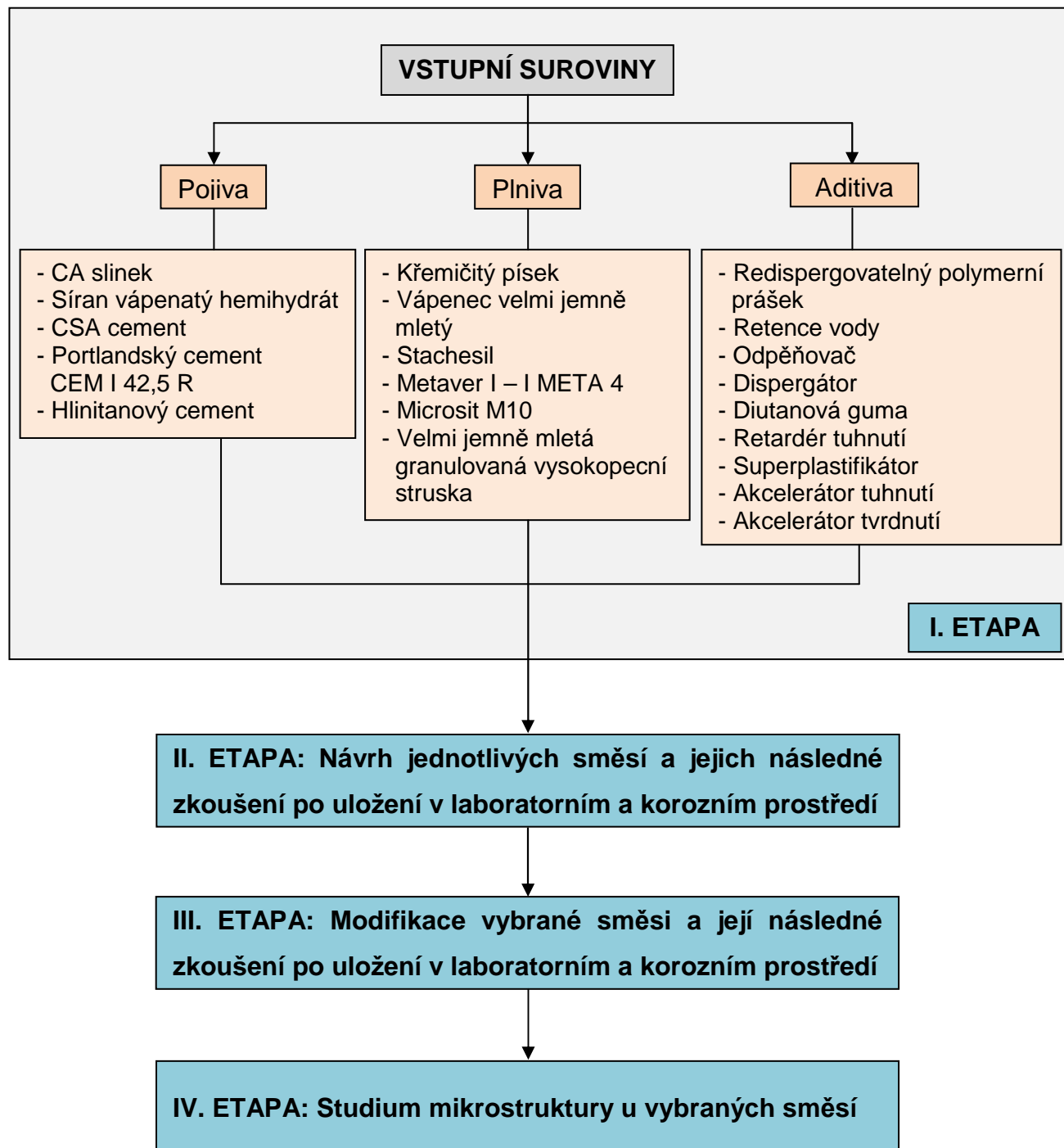
7.4 IV. Etapa: Studium mikrostruktury na vybraných směsích

V poslední IV. etapě byly vybrány směsi, na kterých se provedly další doplňkové zkoušky mikrostruktury. Zjišťováno bylo mineralogické složení metodou rentgenové difrakční analýzy (RTG), objem množství pórů pomocí vysokotlaké rtuťové porozimetrie a rovněž byly pořízeny snímky z elektronové rastrovací mikroskopie (REM).

Na následujících obrázcích jsou graficky znázorněny postupy prací.

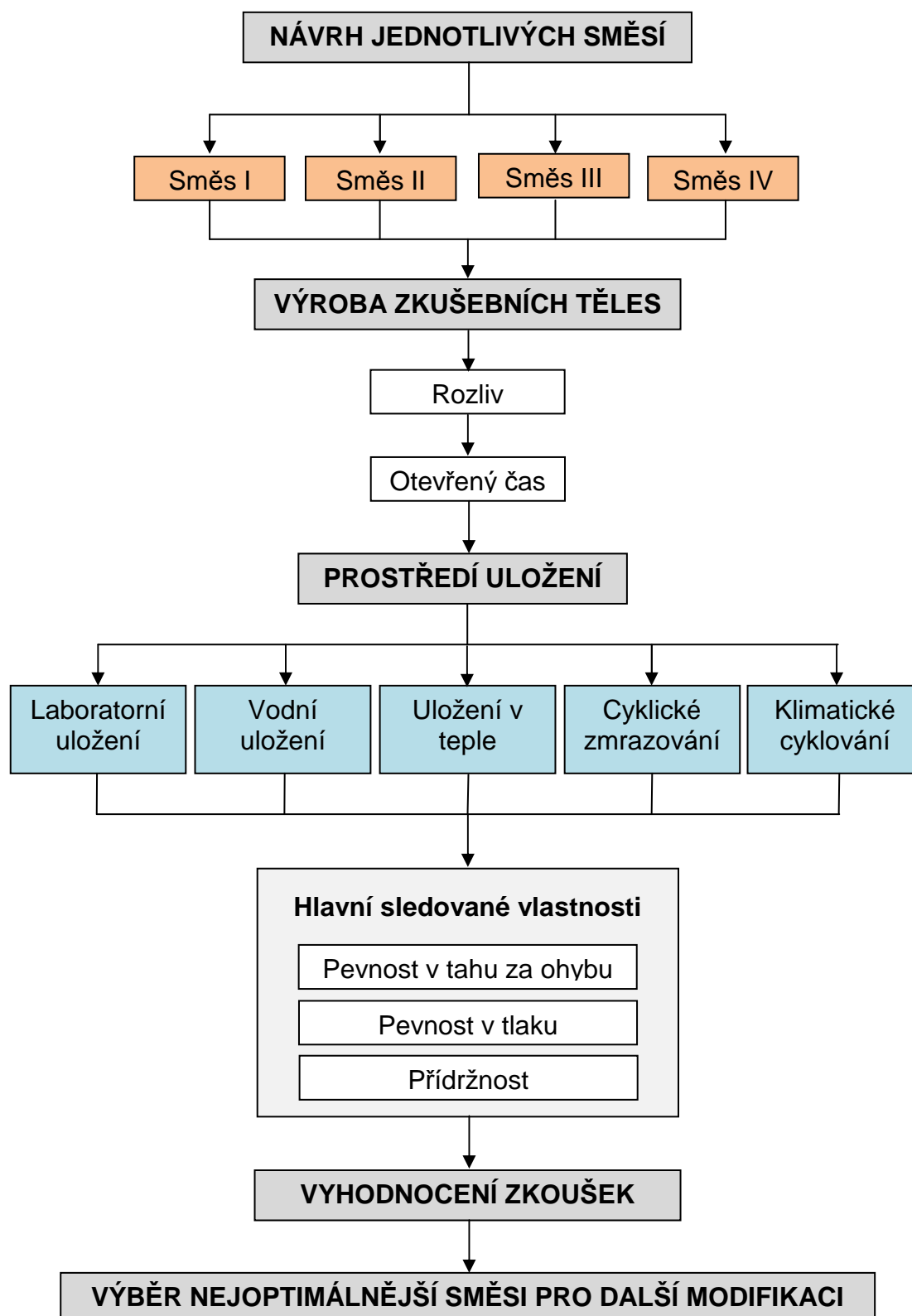
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ METODIKY PRÁCE

I. ETAPA: Rozbor vstupních surovin



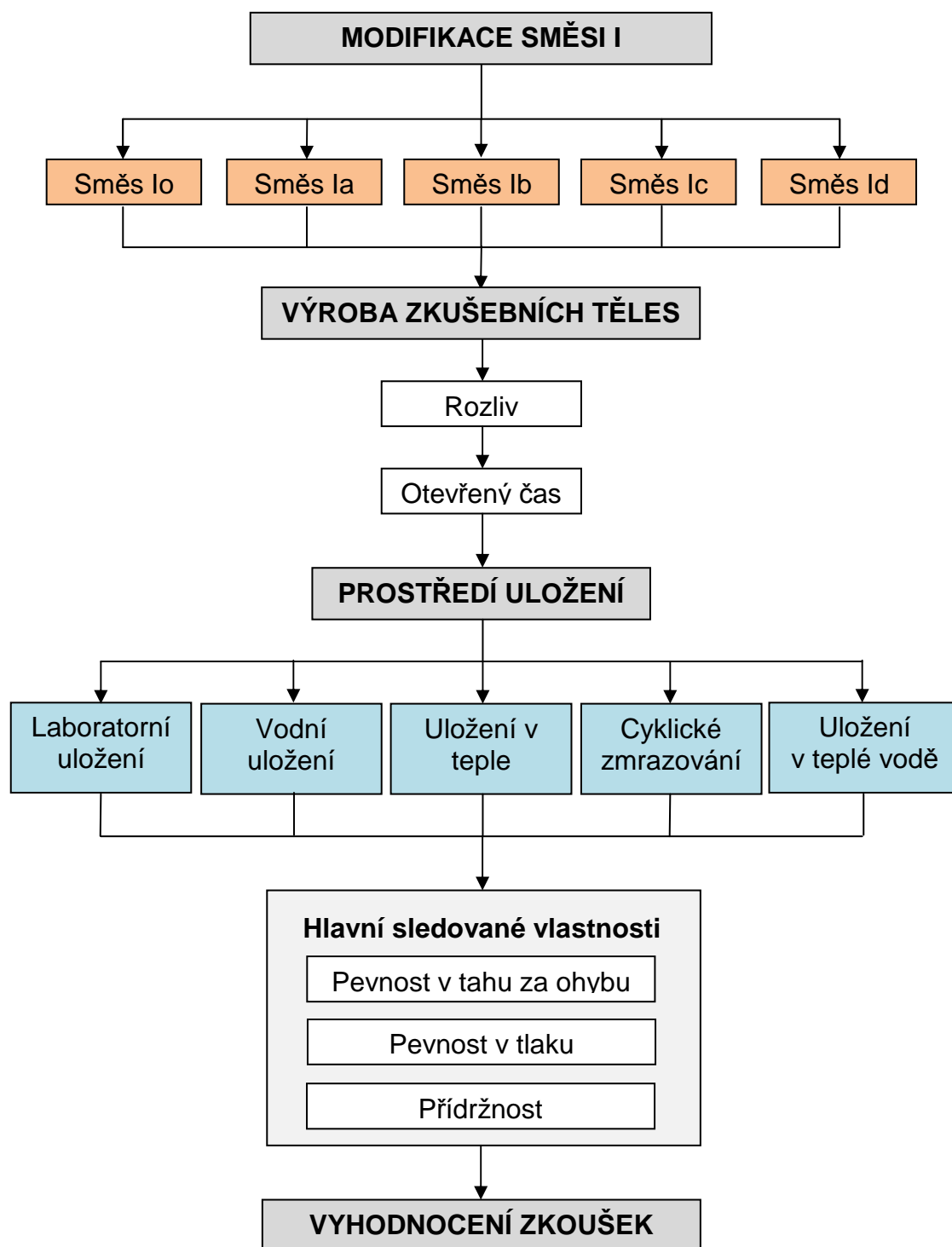
Obrázek 6: Metodika pro provádění experimentálních prací při ETAPĚ I., II., III., IV.

II. ETAPA: Návrh jednotlivých směsí a jejich následné zkoušení po uložení v laboratorním a korozním prostředí



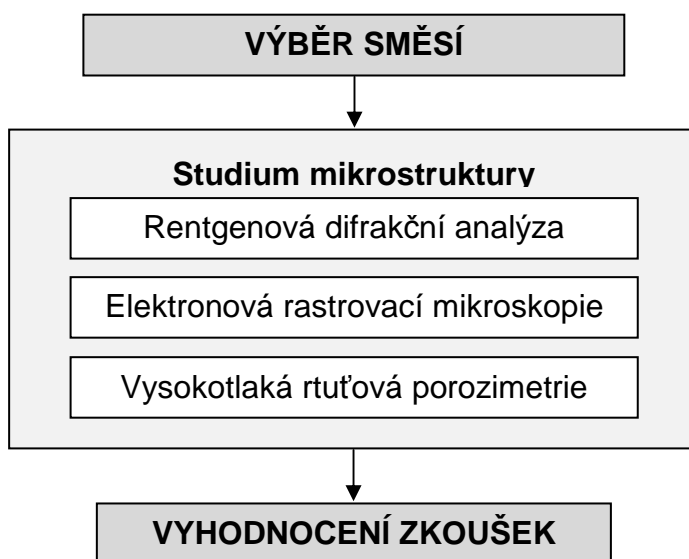
Obrázek 7: Metodika pro provádění experimentálních prací při ETAPĚ II.

**III. ETAPA: Modifikace vybrané směsi a její následné zkoušení po uložení
v laboratorním a korozním prostředí**



Obrázek 8: Metodika pro provádění experimentálních prací při ETAPĚ III.

IV. ETAPA: Studium mikrostruktury u vybraných směsí



Obrázek 9: Metodika pro provádění experimentálních prací při ETAPĚ IV.

7.5 Základní směsi

Základní směsi byly navrženy dle receptur firmy LB Cemix, spol. s.r.o., v každé ze čtyř namíchaných směsí byl použit jiný typ pojiva a jiný poměr složek. Fyzikálně-mechanické vlastnosti základních směsí byly následně mezi sebou porovnány.

7.6 Příprava zkušebních vzorků

Na výrobu zkušebních vzorků byla použita míchačka s nuceným oběhem podle ČSN EN 196-1. Do mísící nádoby bylo podle předem připravených receptur hmotnostně dávkováno kamenivo, aditiva a cement. Poté byla do míchačky objemově nadávkována voda z vodovodního řádu. Následovalo míchání, jehož doba byla závislá na dokonalém obalení zrn kameniva a aditiv cementovým tmelem. Tento postup byl pro všechny typy směsí stejný. Takto připravené směsi byly naplněny do vymazaných ocelových trojforem pro výrobu trámečků 40x40x160 mm. Bezprostředně po vylití se odstranila přebytečná hmota a ocelovou stěrkou se zarovnal povrch zkušebních těles s okrajem formy. Po 24 hodinách od přípravy se trámečky odformovaly a uložily do místnosti s průměrnou teplotou vzduchu $t_i = 20^0 \text{ C}$ a relativní vlhkostí $\varphi_i = 50 \text{ %}$. V tomto prostředí byly vzorky uloženy a ošetřovány po dobu 28 dní. Takto připravené vzorky byly podrobeny jednotlivým typům zkoušek, které jsou požadovány normami a také firmou LB Cemix, spol. s.r.o.



8 Popis prováděných zkoušek

8.1 Zkouška Rozlivu (ČSN EN 12706)

Touto metodou se měří hodnoty rozlití známého objemu stěrkové hmoty tak, že se do středu skleněné desky položené na pevné vodorovné podložce umístí váleček o vnitřním průměru $(30 \pm 0,1)$ mm a výšce $(50 \pm 0,1)$ mm, který se po ukončení míchání naplní až k horní hraně namíchanou stěrkovou hmotou. Po naplnění se váleček zvedne ze skleněné desky kolmo vzhůru a směs se nechá vytékat, dokud nedojde k vyprázdnění válečku. Poté se pravítkem změří průměr vzniklého koláče ve dvou na sebe kolmých směrech a spočítá se aritmetický průměr těchto dvou hodnot.



Obrázek 10: Zkouška konzistence

8.2 Otevřený čas

Tato alternativní metoda definuje tzv. manipulační čas, který představuje časový úsek, ve kterém je materiál v perfektním tekutém stavu. Je to tedy okamžik, do kterého musí být provedeno vylití stěrkové hmoty, a od tohoto okamžiku nelze do vylité hmoty zasahovat.



Obrázek 11:
Otevřený čas

8.3 Stanovení pevnosti v tahu za ohybu (ČSN EN 13 892-2)

Pevnost v tahu za ohybu se stanovuje výpočtem mezního napětí malty v tahu za ohybu za předpokladu, že se malta chová pružně. Pevnost v tahu za ohybu byla provedena za použití pomocných zařízení na lisu. Zkušební tělesa o rozměrech 40 x 40 x 160 mm se ukládají na válcové podpory tak, aby rozpětí mezi podporami bylo 80 mm a zatížení působilo ve středu vzorku po celé jeho šířce ve směru kolmém na směr zhutňování malty. Zatížení se musí vyvozovat plynule bez rázů a rovnoměrnou rychlostí v souladu s předpokládanou jakostí malty až do porušení. Naměřené hodnoty odečítáme na stupnici lisu v kN. Hodnota pevnosti v tahu za ohybu je dána aritmetickým průměrem hodnot stanovených na třech zkušebních vzorcích. Na zlomcích trámečků se zkouší pevnost v tlaku.

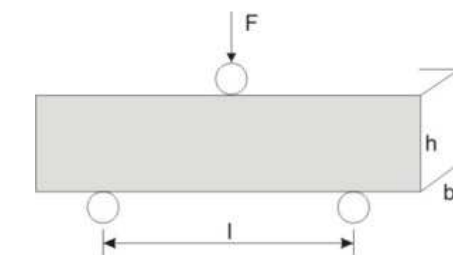
$$R_t = \frac{1,5 \cdot F \cdot l}{b \cdot h^2} \quad [\text{MPa}]$$

F.....zatížení lisu potřebné ke zlomení trámečků [N]

b.....šířka lámaného průřezu trámečku [mm]

h.....výška lámaného průřezu trámečku [mm]

lrozpětí podpor trámečku (l=80 mm) [mm]



Obrázek 12: Pevnost v tahu za ohybu [17]

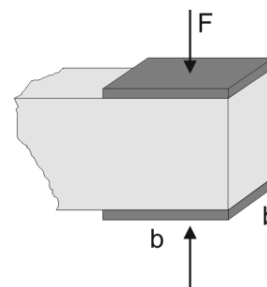
8.4 Stanovení pevnosti v tlaku (ČSN EN 13 892-2)

Pevnost v tlaku se zkouší na zlomcích trámečků po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu. Zkušební těleso se vloží mezi dvě destičky předepsané plochy tak, aby zatížení bylo vyvozováno na celou šířku, která je ve styku s destičkami. Důležité je uložení vzorku do lisu, tak aby vyvozovaný tlak působil kolmo na směr zhutnění. Zatěžování se provádí plynule a rovnoměrně. Naměřené hodnoty odečítáme na stupnici lisu v kN.

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad [\text{MPa}]$$

F_c.....zatížení při porušení zlomku trámečku [N]

A.....tlačná plocha (A=40 x 40 mm) [mm²]



Obrázek
13: Pevnost
v tlaku [17]

8.5 Stanovení přídržnosti (ČSN EN 13 892-8)

Přídržnost se stanovuje jako namáhání v tahu vynaložené přímým zatížením kolmým k povrchu přídržované plochy. Přídržnost se vypočítá jako podíl zatížení vedoucího k porušení zkoušené plochy. Zkoušená plocha je dána vyvrtanou nebo vyřezanou plochou přes potěrový materiál do podkladu. Na zkoušenou plochu je dvousložkovým lepidlem nalepen kovový terč o průměru 50 mm a přebytečné lepidlo musí být odstraněno. Takto připravený vzorek je ponechán 24 hodin v laboratorních podmínkách. Po zatvrdnutí se zkušební plochy ořežou pomocí vyřezávacího prstence nebo diamantové pily. Výřezy musí být provedeny tak, aby zasahovaly více než 5 mm do podkladu. Hodnota síly potřebné k odtržení se odečítá na stupnici zkušebního přístroje. Jednotlivé hodnoty přídržností se vypočítají ze vztahu:

$$B = \frac{F}{A} \quad [\text{MPa}]$$

F.....síla potřebná k odtržení terče [N]

A.....plocha terče [mm²]

8.6 Rentgenová difrakční analýza (RTG)

Tato metoda slouží ke stanovení mineralogického složení látek krystalického charakteru. Vzorky pro rentgenovou difrakční analýzu musíme mletím a proséváním přes síta převést do velmi jemného práškovitého stavu. Takto upravený vzorek umístíme do nosiče, který má tvar plošné formičky a přitlačením krycího skla na vzorek se zarovná jeho povrch do jedné roviny s povrchem nosiče. Převedením vzorku do práškovitého stavu docílíme toho, že i malý objem analyzované látky se skládá z velkého počtu mikroskopických zrn orientovaných souhlasně s rovinou vzorku v nosiči dostačujících k průkazné analýze. Zkouška byla prováděna dle metodického postupu VUT FAST, č. 30-33/1.

8.7 Elektronová rastrovací mikroskopie (REM)

Elektronová mikroskopie umožňuje sledovat mikrostruktury analyzovaných materiálů při zvětšení a rozlišení, jež se vymyká možnostem optického mikroskopu. Skutečnost, že tyto mikroskopy mají vysokou hloubku ostrosti, umožňuje pozorování materiálů s velmi členitým povrchem. Jako vzorky se používají přímo úlomky analyzovaného materiálu. Většina silikátových materiálů je elektricky nevodivá a proto se musí před analýzou upravovat tak, že se pokryjí tenkou vrstvičkou vodivého materiálu. Jednotlivé body předmětu se zobrazují časově po sobě bod po bodu, řádek po řádku a skládají se ve výsledný obraz. Analýza byla prováděna v souladu s metodickým postupem VUT FAST, č. 30-33/1.

8.8 Vysokotlaká rtuťová porozimetrie

Tato metoda slouží pro stanovení pórovitosti (stanovení obsahu tzv. „nulté fáze“ ve vzorku). Přítomnost pórů ovlivňuje řadu vlastností jako pevnosti, mrazuvzdornost a jiné. Podstatnou roli hraje nejen celkový obsah pórů, ale i jejich velikost.

Měření objemu mikropórů se provádí v měřící baňce přístroje, do níž je vložen vzorek. Baňka je zazátkována, vyvakuována a poté zaplněna rtutí až do definované výšky. Vakuací se z mikropórů vypudí veškerý vzduch, který by zkresloval výsledky měření. Na hladinu rtuti působí rovnoměrně se zvyšující tlak a rtuť postupně vniká do pórů vzorku.

9 I. ETAPA: Rozbor vstupních surovin

9.1 Cement portlandský CEM I 42,5 R

Cement je hydraulické pojivo, tj. jemně mletá anorganická látka. Po smíchání s vodou vytváří kaši, která tuhne a tvrdne v důsledku hydratačních reakcí a procesů. Po zatvrdnutí zachovává svoji pevnost a stálost také ve vodě. Portlandské cementy jsou prášková pojiva vyrobená jemným semletím křemičitanového slinku a síranu vápenatého regulující tuhnutí, případně doplňující složky nepřesahující 5% hmotnosti cementu a přísad nepřevyšujících 1% hmotnosti cementu.



Výrobce:	Cement Hranice, a.s.
Měrná hmotnost:	3120 kg.m ⁻³
Měrný povrch:	360 m ² .kg ⁻¹
Počátek tuhnutí:	130 min
Doba tuhnutí:	210 min
Pevnost v tlaku po 28 dnech:	49,7 MPa

Chemické složení [%]										
SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	Cl ⁻
56,82	1,79	1,31	28,93	6,18	0,20	2,02	1,79	0,32	0,03	0,10

Tabulka 3: Chemické složení portlandského cementu

9.2 Cement hlinitanový

Pro práci byl použit hlinitanový cement od francouzského výrobce s označením Cement Fondu Lafarge dodaný firmou LB Cemix, spol. s.r.o. Jedná se o hydraulické pojivo, které v podstatě tvoří oxid hlinitý a vápenatý. Díky vysokému obsahu monokalciumaluminátu dosáhne vyrobená malta velmi rychle vynikajících mechanických vlastností.

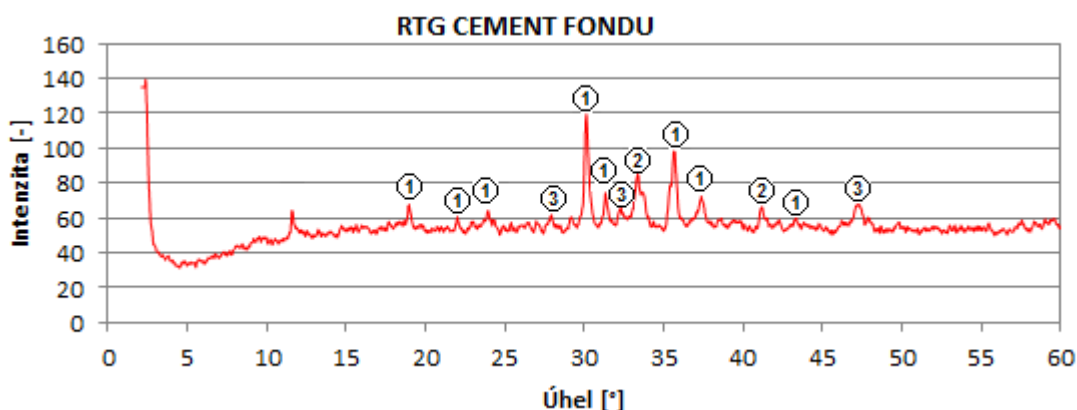


Reologické charakteristiky jsou přizpůsobeny především pro lití a suché torkretování. Jeho použití se doporučuje v případech, kdy se požaduje rychlé tvrdnutí a vysoké pevnosti.

Výrobce:	Lafarge
Měrná hmotnost:	3200 kg.m ⁻³
Měrný povrch:	285-345 m ² .kg ⁻¹
Počátek tuhnutí:	120 min
Doba tuhnutí:	200 min
Pevnost v tlaku po 6 hodinách:	30 MPa
Pevnost v tlaku po 24 hodinách::	50 MPa

Chemické složení [%]							
Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	SO ₃	K ₂ O + Na ₂ O
> 37	< 41	< 6	< 18,5	< 4	< 1,5	< 0,3	< 0,4

Tabulka 4: Chemické složení hlinitanového cementu



Graf 4: RTG cement FONDU, Legenda: 1-CA, 2-Mayenit C₁₂A₇, 3-C₄AF

9.3 Síran vápenatý - hemihydrát

Pro práci byl použit hemihydrát síranu vápenatého dodaný firmou LB Cemix, spol. s.r.o. Hemihydrát se vyrábí autoklávovacím procesem, kdy vzniká v prostředí nasyceném vodní párou již od 115°C. Alfa hemihydrát má kompaktnější krystalovou strukturu než beta a vytváří pravidelně uspořádané, jehlicovité krystaly. Vyžaduje méně vody k hydrataci, tuhne za 15 až 20 minut a po zavrnutí kaše vykazuje vyšší pevnosti.



Chemické složení [%]		
CaSO ₄	H ₂ O	Nečistoty
≥ 90	≤ 1	≤ 7

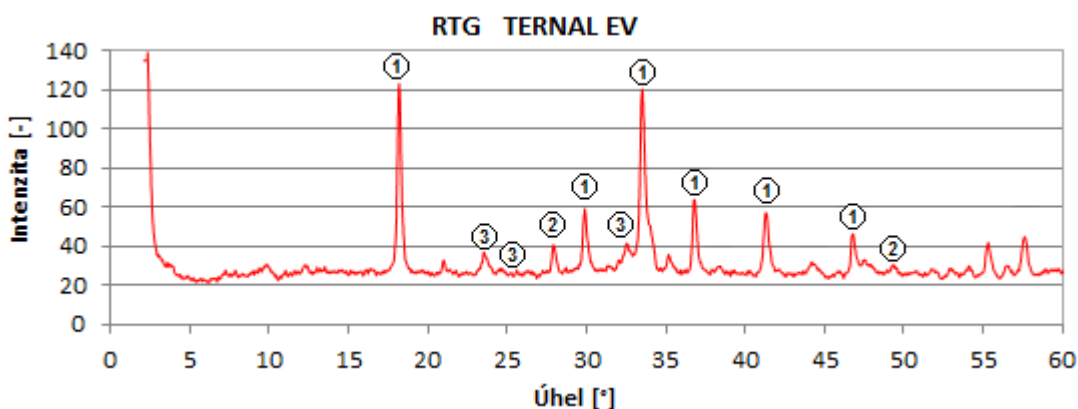
Tabulka 5: Chemické složení síranu vápenatého-hemihydrátu

9.4 Kalcium-aluminátový slínek

Kalcium-aluminátový slínek je speciální CA slínek známý pod obchodním názvem TERNAL EV. Jedná se o poslední inovaci v oblasti hlinitanové technologie, která umožňuje vývoj řady sloučenin s výrazně vysokým výkonem pro podlahy.

Chemické složení [%]			
Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
33,5 - 37,5	47,5 - 50,5	3,5 - 6,0	6,5 - 9,0

Tabulka 6: Chemické složení Ternalu EV



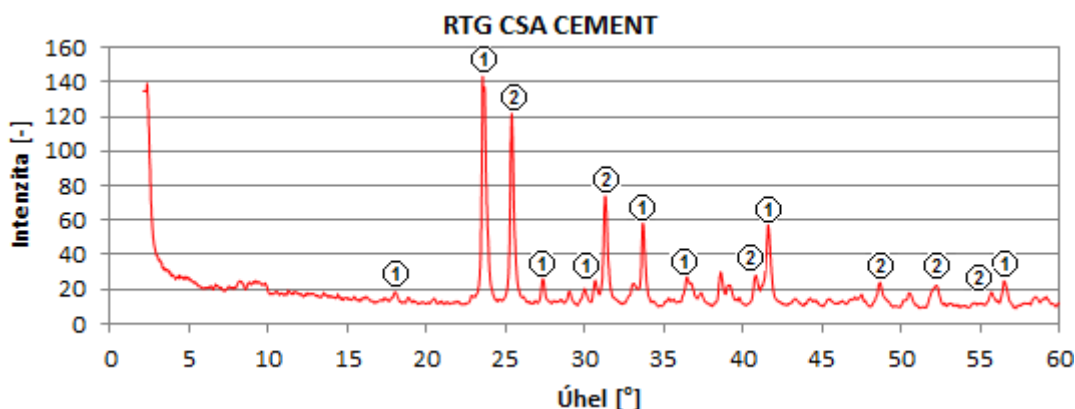
Graf 5: RTG TERNAL EV, Legenda: 1-Mayenit C₁₂A₇, 2-CA, 3-Brownmillerite

9.5 Kalcium-sulfo-aluminátový cement

Jedná se o směs CSA a syntetického anhydritu v hmotnostním poměru 3:1. Jakmile, je tento cement ve směsi s portlandským cementem, dochází k rychlému nastavení vysokých počátečních pevností a ke kompenzaci smrštění.

Chemické složení [%]							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	TiO ₂	K ₂ O
3,60	47,40	1,40	38,00	0,30	7,50	2,20	0,16

Tabulka 7: Chemické složení CSA cementu



Graf 6: RTG CSA cement, Legenda: 1- $C_4A_3\hat{S}$, 2-Anhydrit

9.6 Křemičitý písek

Byl použit křemičitý písek frakce 0,0-0,3 mm a 0,3-0,6 mm, který dodala firma LB Cemix, spol. s.r.o. a sloužil jako součást plniva. Jedná se o zrnité světle zbarvené až bílé horniny, které se po úpravě používají jako surovina. Písky v požadované kvalitě se většinou v přírodě nevyskytují, proto je nutno je upravovat drcením, praním a tříděním. Křemičitý písek se vyznačuje velmi vysokým obsahem SiO_2 .



Měrná hmotnost:	2650 kg.m^{-3}
Sypná hmotnost volně sypaná:	1370 kg.m^{-3}
Sypná hmotnost setřesená:	1580 kg.m^{-3}
Nasákavost:	23,40 %

Chemické složení [%]			
SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	Al_2O_3
98,5	0,95	0,21	0,18

Tabulka 8: Chemické složení křemičitého písku

9.7 Vápenec velmi jemně mletý

Velmi jemně mletý vápenec z firmy Kotouč Štramberk, spol. s.r.o. s obchodním názvem Vápenec velmi jemně mletý VMV-15/V, který dodala firma LB Cemix, spol. s.r.o. Je připraven jemným semletím přírodního vápence na požadované parametry a vyznačuje se vysokou chemickou čistotou a příznivou granulometrií.



Chemické složení [%]		
CaCO ₃ +MgCO ₃	Fe ₂ O ₃	nerozp. Zbytek v HCl
≥ 98,0	≤ 0,2	≤ 2,0

Tabulka 9: Chemické složení velmi jemně mletého vápence VMV-15/V

9.8 Granulovaná vysokopecní struska

Granulovaná vysokopecní struska vzniká rychlým ochlazením roztavené tekuté strusky, která je vedlejším produktem výroby surového železa ve vysoké peci. Čím rychlejší je chlazení, tím obsahuje více sklovité fáze a je tedy energeticky bohatší, tzn. reaktivnější. Je charakterizována poměrem sklovité a krystalické fáze, chemickým a mineralogickým složením. Pro práci byla vybrána vysokopecní granulovaná jemně mletá struska z Třineckých železáren, kterou upravuje Kotouč Štramberk spol. s r.o.



Chemické složení [%]								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	TiO ₂	S	P
36,00	11,50	41,50	6,0- 12,0	0,40	0,75	1,20	1,30	0,10

Tabulka 10: Chemické složení vysokopecní strusky

9.9 Aditiva

9.9.1 Speciální přísady

Speciální přísady označované souhrnně jako aditiva, obsahující odpěňovač, celulózovou záhustku, disperzní prášek, byly pro tuto práci dodány firmou LB Cemix, spol s.r.o. Tyto přísady slouží především ke zlepšení zpracovatelnosti zajištěním tekuté konzistence, zamezují nežádoucí sedimentaci, tvorbě trhlin apod.



9.9.2 Akcelerátor tuhnutí

Jako akcelerátor tuhnutí portlandského cementu byl použit mravenčan vápenatý, což je rozpustná organická látka. Urychlovače tuhnutí jsou materiály, které se přidávají do směsi, aby se zkrátilo tuhnutí a urychlilo zvyšování počátečních pevností.



9.9.3 Akcelerátor tvrdnutí

Jako akcelerátor tvrdnutí směsných hydraulických pojiv byl použit uhličitan lithný, což je anorganická sloučenina. Urychlovače tvrdnutí jsou materiály, které zajišťují nárůst pevností ztuhlé směsi.



9.9.4 Retardér tuhnutí

Jako zpomalovač tuhnutí hydraulických pojiv byla použita kyselina vinná, je to bezbarvá krystalická látka, dobře rozpustná ve vodě. Retardéry tuhnutí zpomalují hydrataci a prodlužují dobu zpracovatelnosti směsi.



9.9.5 Superplastifikační přísada

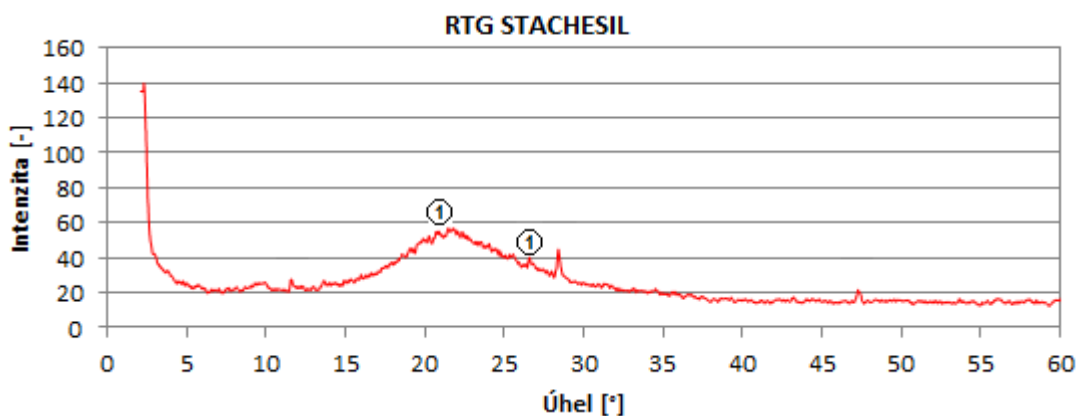
Superplastifikátory slouží ke snížení potřeby záměsové vody a ke zlepšení zpracovatelnosti zajištěním tekuté konzistence. Pro práci byla použita superplastifikační přísada na bázi polycarboxylatetheru (PCE). PCE přísady se přimknou k povrchu cementového zrna a elektrostatickým odpuzováním umožní jemnější rozptýlení zrn, čímž vznikne homogenní cementový tmel, který zajišťuje dobrou zpracovatelnost. Současně vytváří dlouhé postranní řetězce polyetherů prostorovou bariéru mezi cementovými zrny a umožňuje tak prodloužení zpracovatelnosti směsi.

9.9.6 Diutanová guma - antisegregace

Jako antisegregace byla použita diutanová guma známá pod obchodním názvem Kelco-Crete. Výrobek umožňuje cíleně zlepšit provádění materiálů tím, že řídí tok, segregaci, sedimentaci a krvácení směsi.

9.10 Stachesil

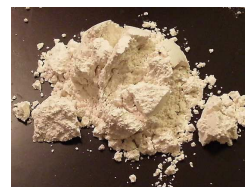
Stachesil je prášková bezchloridová příměs výrazně zlepšující vlastnosti čerstvých i zatvrdlých směsí. V kombinaci se všemi druhy cementu má vliv na zlepšení reologických vlastností čerstvé směsi, snížení množství záměsové vody, které souvisí se zvýšením pevností a snížením obsahu cementu. Dále zvyšuje vodotěsnost, trvanlivost a odolnost betonu vůči agresivnímu prostředí (síranové vody, posypové soli, ...).



Graf 7: RTG Stachesil, Legenda: 1-βkřemen

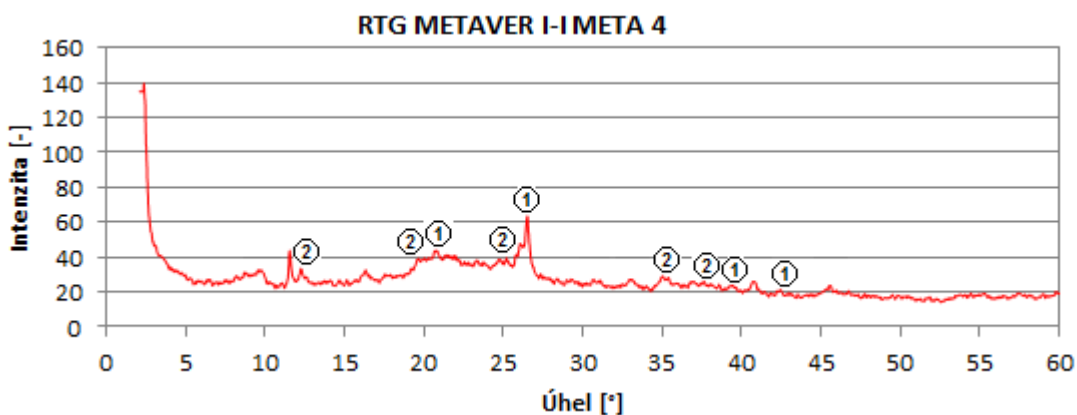
9.11 Metaver I – I META 4

Jedná se o tepelně ošetřený čistý kaolin používaný jako přísada do cementových stavebních materiálů. Vyrábí se kalcinací z kaolinu a většinou má lehce načervenalou barvu. Metaver má schopnost vázat velké množství volného vápna ve formě stabilní CSH-fáze. Rychlost a objem této reakce mohou být řízeny pomocí chemických a jiných adekvátních metod. Snadno se mísí a vytváří lehce zpracovatelnou plastickou konzistenci. Díky velikosti částic je spotřeba vody velmi nízká. Metaver dokazuje své přednosti v aplikacích, kde se požaduje pevnost, hustnota a odolnost. Velmi užitečné je jeho použití v samozhutnitelných maltách pro jejich stabilitu.



Chemické složení [%]							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
52 - 54	40 - 42	< 2,5	< 1,0	< 0,5	< 0,4	< 2,0	< 0,1

Tabulka 11: Chemické složení Metaveru I – I META 4



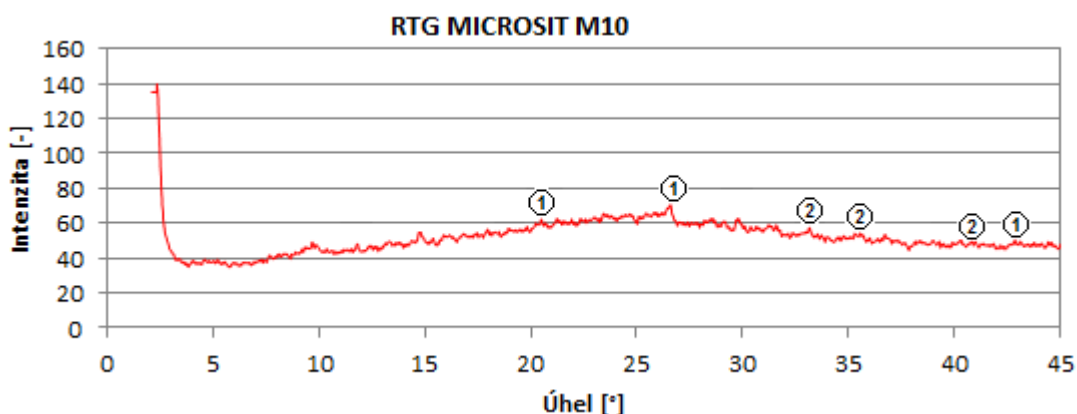
Graf 8: RTG Metaver I-I Meta 4, Legenda: 1-βkřemen, 2-Kaolinit

9.12 Microsit M10

Microsit M10 je nová přísada pucolánového typu určená pro kvalitní stavební hmoty na bázi cementu, která se v podstatě skládá z SiO_2 a Al_2O_3 čímž se řadí do třídy aluminosilikátů. Vyznačuje se velmi jemnou a definovanou granulometrickou křivkou, díky které je možné dosáhnout vysoké hutnosti a odolnosti, dále zmenšuje množství záměsové vody a zlepšuje reologické vlastnosti směsi. Tento typ přísady je vhodný pro výrobu stavebních hmot s velkým rozlivem, pro malty s vysokou pevností a odolností proti chemickému a fyzikálnímu namáhání.

Chemické složení [%]			
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO
52,00	26,00	6,00	5,00

Tabulka 12: Chemické složení Microsítu M10



Graf 9: RTG Microsit M10, Legenda: 1- β -křemen, 2-Mullit

10 II. Etapa: Návrh jednotlivých směsí a jejich následné zkoušení po uložení v laboratorním a korozním prostředí

10.1 Základní směsi

Základní směsi navržené dle receptur firmy LB Cemix jsou uvedeny v tabulce č. 13.

Směs I., je „novinkou roku 2011“, jedná se o nejnovější koncepci speciálně připravenou pro podlahové samonivelační hmoty, která je založena na binárním systému: speciální CA slínek známý pod obchodním názvem TERNAL EV + síran vápenatý-hemihydrát.

Směs II., v ČR relativně nová pojivová skladba, kterou lze označit jako pseudobinární systém: portlandský cement + kalcium-sulfo-aluminátový cement CALUMEX QUICK (průmyslově vyráběný premix 3 dílů CSA slínku a 1 dílu síranu vápenatého).

Směs III., je tradiční dlouhodobě nejužívanější skladbou, založenou na ternárním pojivovém systému: portlandský cement + hlinitanový cement + síran vápenatý-hemihydrát.

Směs IV., je nízkonákladová komerční pojivová skladba: portlandský cement + granulovaná vysokopecní struska + síran vápenatý-hemihydrát.

Tabulka 13: Složení základních směsí

SMĚS	I	II	III	IV
SLOŽKA	[%]	[%]	[%]	[%]
CA slínek	15	-	-	-
Síran vápenatý - hemihydrát	7,5	-	7	3,5
CSA cement	-	12	-	-
Portlandský cement CEM I 42,5 R	-	24	4,5	24
Hlinitanový cement	-	-	17	-
Aditiva	3,15	3,2	3,35	3,15
Diutanová guma - antisegregace	0,01	0,01	0,01	-
Retardér tuhnutí - kyselina vinná	0,04	0,11	0,06	0,02
Superplastifikátor typ PCE	-	0,18	0,16	0,13
Granulovaná vysokopecní struska velmi jemně mletá	-	-	-	7
Akcelerátor tuhnutí - mravenčan vápenatý	-	-	-	1,5
Akcelerátor tvrdnutí - uhličitan lithný	0,1	0,1	0,1	-
Křemičitý písek frakce 0,0 - 0,3 mm	22,5	20,4	22	23
Křemičitý písek frakce 0,3 - 0,6 mm	31,5	26	28,5	27,8
Vápenec velmi jemně mletý	20,2	14	17,32	9,9
Voda	20	20	20	20

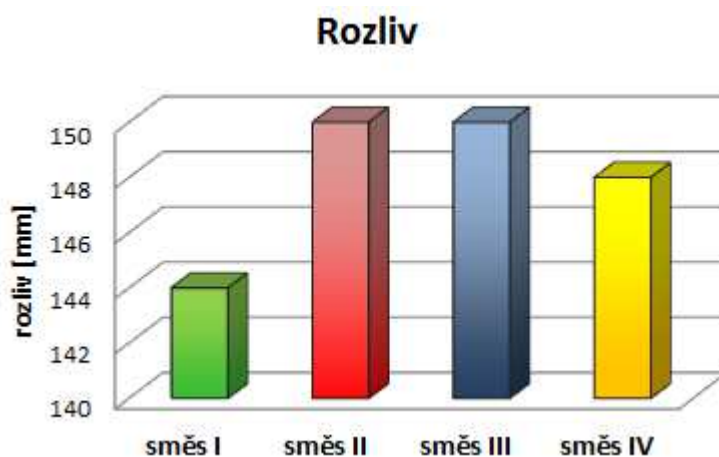
Poznámka: Aditiva jsou soumou polymerního prášku, celulósy, odpěňovače a dispergátoru.

10.2 Zkouška rozlivu

Hodnoty rozlivu jsou uvedeny v tabulce č. 14. a grafu č. 10.

Rozliv	Směs			
	I	II	III	IV
[mm]	144	150	150	148

Tabulka 14: Hodnoty zkoušky rozlivu



Graf 10: Hodnoty zkoušky rozlivu základních směsí

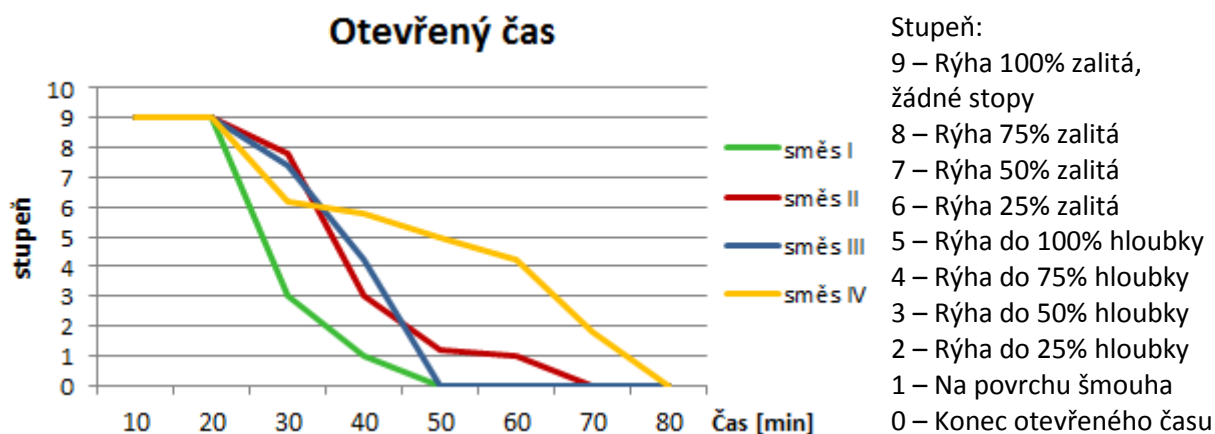
Požadovaná hodnota rozlivu by se pro samonivelační vyrovnávací hmotu měla pohybovat kolem 140 ± 10 mm. Všechny použité směsi tento požadavek splňovaly.

10.3 Otevřený čas

Otevřený čas je popsán v tabulce č. 15 a znázorněn v grafu č. 11. Jednotlivé stupně popisují začátek otevřeného času, kdy je směs v perfektním tekutém stavu a konec otevřeného času, kdy již nelze do vylité hmoty zasahovat.

Otevřený čas [min]	Směs			
	I	II	III	IV
10 min	OK	OK	OK	OK
20 min	OK	OK	OK	OK
30 min	rýha do 50%	zalitá rýha ze 70%	rýha zalitá ze 60%	rýha zalitá ze 30%
40 min	šmouha	rýha do 50%	rýha do 80%	rýha zalitá ze 20%
50 min		rýha do 5%		rýha do 100%
60 min		šmouha		rýha do 80%
70 min				rýha do 20%

Tabulka 15: Otevřený čas základních směsí



Graf 11: Otevřený čas

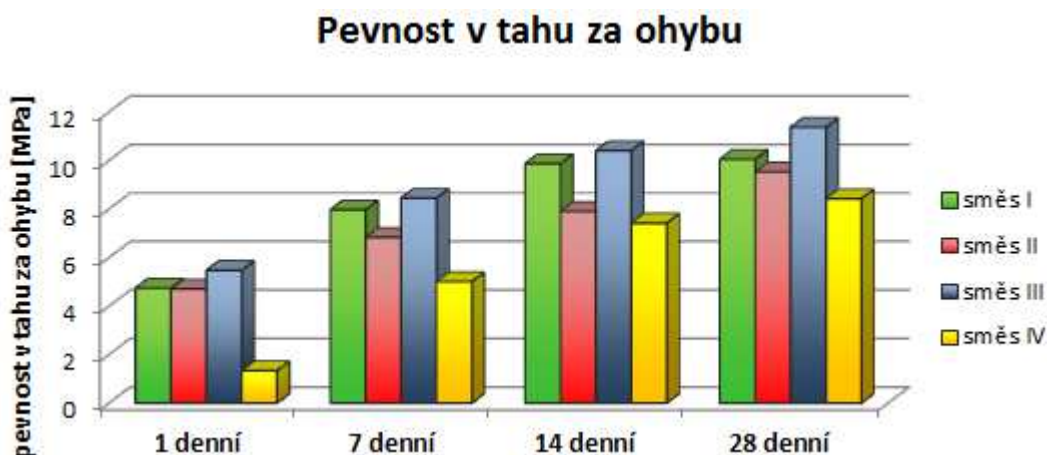
Všechny směsi byly prvních 20 minut v tekutém stavu, během dalších minut se začala zavírat I. a III. směs. V tekutém stavu zůstala po nejdelší dobu směs IV., u které nastal konec otevřeného času po 80 minutách.

10.4 Pevnost v tahu za ohybu

Hodnoty pevností v tahu za ohybu vzorků uložených v laboratorním prostředí jsou v tabulce č. 16 a v grafu č. 12. Vzorky byly zkoušeny po 1, 7, 14 a 28 dnech.

Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	Směs			
	I	II	III	IV
1 denní	4,74	4,71	5,48	1,34
7 denní	7,97	6,84	8,45	5,01
14 denní	9,87	7,90	10,41	7,42
28 denní	10,05	9,53	11,37	8,43

Tabulka 16: Pevnost v tahu za ohybu vzorků uložených v laboratorním prostředí



Graf 12: Pevnost v tahu za ohybu vzorků uložených v laboratorním prostředí

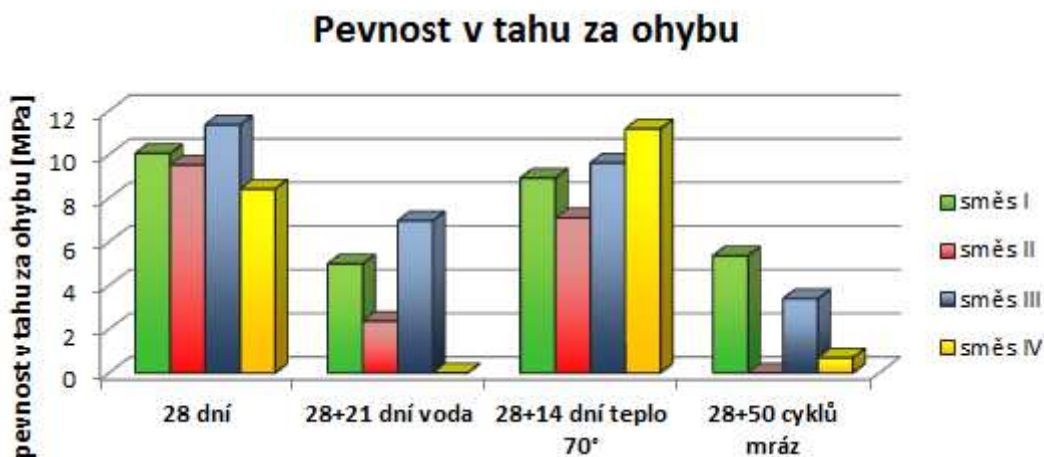
Při porovnávání jsme zjistili, že směs IV. vykazovala po celou dobu měření nejmenší hodnoty ve všech časových intervalech. Naopak nejlepších pevností v tahu za ohybu při laboratorním uložení dosahovala směs III., taktéž v každém období měření.

Hodnoty pevností v tahu za ohybu vzorků uložených v laboratorním a korozním prostředí jsou v tabulce č. 17 a v grafu č. 13. Vzorky byly zkoušeny po 28 dnech normového zrání a po uplynutí doby uložení v korozním prostředí.

Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	Směs			
	I	II	III	IV
28 dní	10,05	9,53	11,37	8,43
28+21 dní voda	5,00	2,38	6,97	0*
28+14 dní teplo 70°	8,93	7,10	9,62	11,18
28+50 cyklů mráz	5,37	0*	3,40	0,69

*Destrukce povrchu nemožnost měření

Tabulka 17: Pevnost v tahu za ohybu vzorků uložených v laboratorním a korozním prostředí



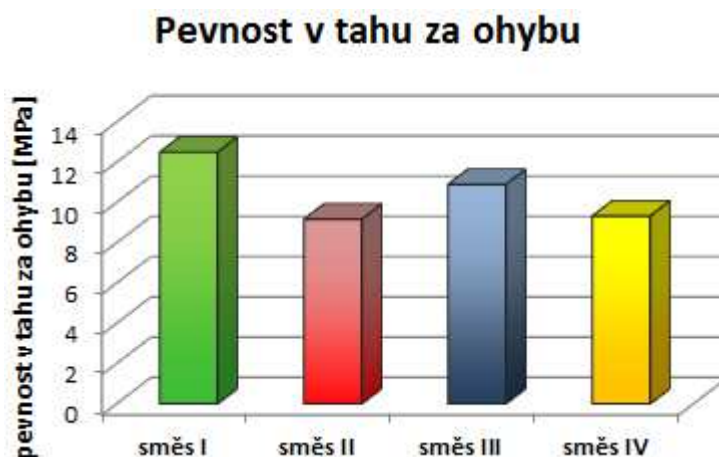
Graf 13: Pevnost v tahu za ohybu vzorků uložených v laboratorním a korozním prostředí

Hodnoty pevnosti v tahu za ohybu zjištěných u vzorků po laboratorním uložení, které probíhalo bez jakéhokoliv zatěžování, byly srovnány s hodnotami vzorků, které byly uloženy v různých typech korozních prostředí. Bylo zjištěno, že působení teploty na zkušební tělesa nijak neovlivnilo hodnoty pevnosti v tahu za ohybu. V případě směsi č. IV. byly hodnoty po uložení v teple 70°C ještě vyšší, než po uložení laboratorním. Další dva typy korozních prostředí zaznamenaly výrazný pokles hodnot pevností v tahu za ohybu, přičemž jako nejméně příznivé se ukázalo cyklické zmrazování.

Hodnoty pevností v tahu za ohybu vzorků uložených v korozním prostředí teplotně-vlhkostního namáhání jsou v tabulce č. 18 a v grafu č. 14. Vzorky byly zkoušeny po 14 dnech zrání v laboratorním prostředí a po klimatickém cyklování.

Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	Směs			
	I	II	III	IV
Klimatické cyklování	12,50	9,17	10,90	9,33

Tabulka 18: Pevnost v tahu za ohybu vzorků uložených v teplotně-vlhkostním prostředí



Graf 14: Pevnost v tahu za ohybu vzorků uložených v teplotně-vlhkostním prostředí

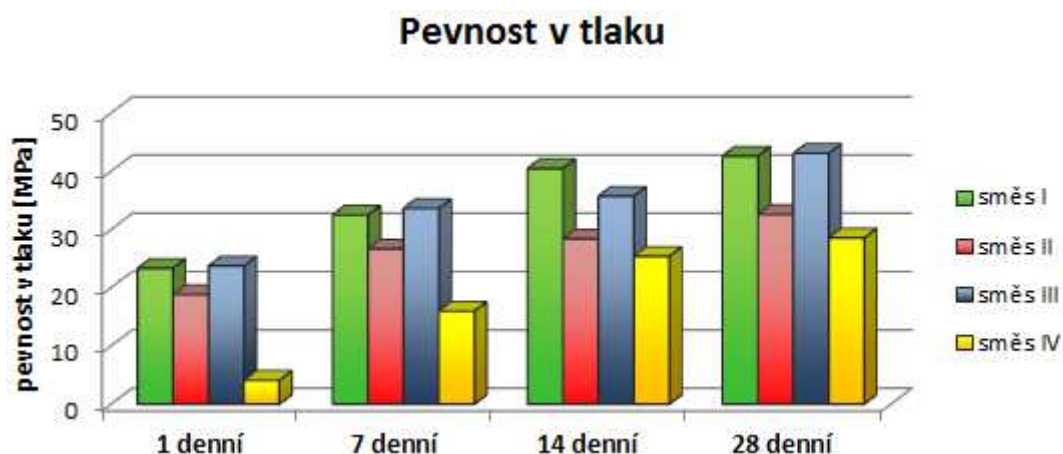
Tento typ korozního prostředí se projevil pozitivně na hodnotách všech směsí. Nejvyšší pevnosti v tahu za ohybu dosáhla směs I.

10.5 Pevnost v tlaku

Hodnoty pevností v tlaku vzorků uložených v laboratorním prostředí jsou v tabulce č. 19 a v grafu č. 15. Vzorky byly zkoušeny po 1, 7, 14 a 28 dnech.

Pevnost v tlaku [MPa]	Směs			
	I	II	III	IV
1 denní	23,34	18,8	23,72	4,08
7 denní	32,49	26,65	33,61	15,97
14 denní	40,47	28,39	35,72	25,39
28 denní	42,61	32,57	43,07	28,54

Tabulka 19: Pevnost v tlaku vzorků uložených v laboratorním prostředí



Graf 15: Pevnost v tlaku vzorků uložených v laboratorním prostředí

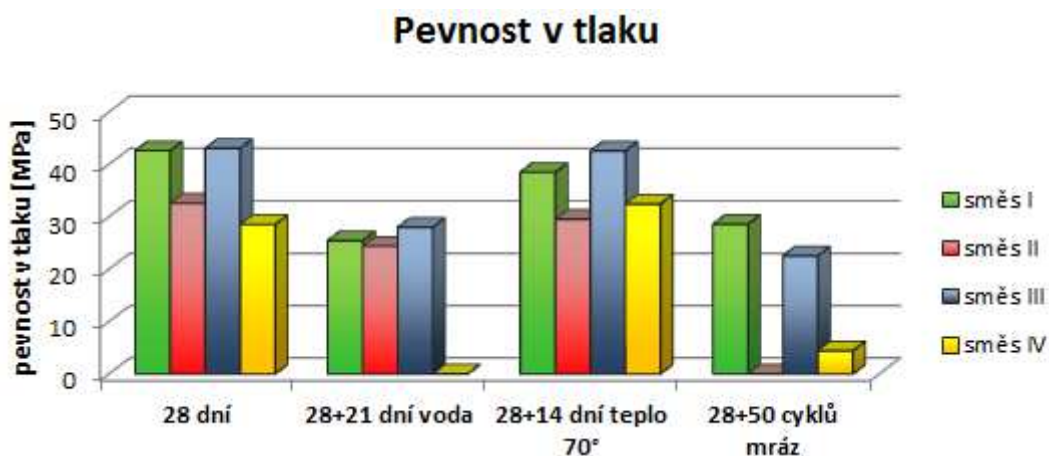
Při porovnávání jsme zjistili, že směs IV. vykazovala po celou dobu měření nejmenší hodnoty ve všech časových intervalech. Naopak nejlepších pevností v tahu za ohybu při laboratorním uložení dosahovala směs III., taktéž v každém období měření.

Hodnoty pevností v tlaku vzorků uložených v laboratorním a korozním prostředí jsou v tabulce č. 20 a v grafu č. 16. Vzorky byly zkoušeny po 28 dnech normového zrání a po uplynutí doby uložení v korozním prostředí.

Pevnost v tlaku [MPa]	Směs			
	I	II	III	IV
28 dní	42,61	32,57	43,07	28,54
28+21 dní voda	25,45	24,40	28,01	0*
28+14 dní teplo 70°	38,49	29,53	42,55	32,44
28+50 cyklů mráz	28,55	0*	22,56	4,45

*Destrukce povrchu nemožnost měření

Tabulka 20: Pevnost v tlaku vzorků uložených v laboratorním a korozním prostředí



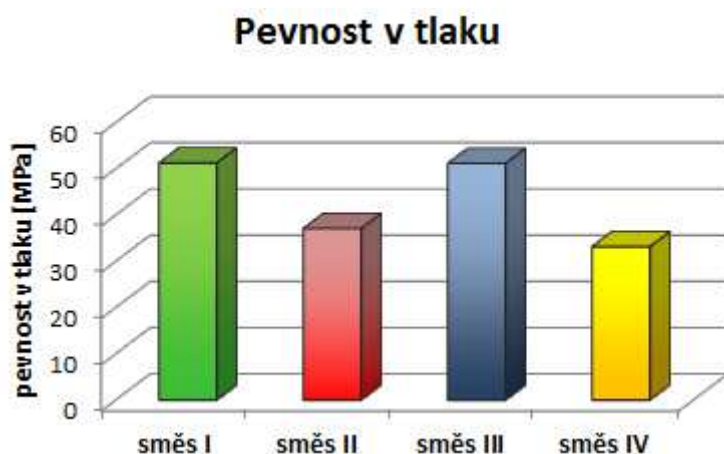
Graf 16: Pevnost v tlaku vzorků uložených v laboratorním a korozním prostředí

Hodnoty pevností v tlaku zjištěných u vzorků po laboratorním uložení, které probíhalo bez jakéhokoliv zatěžování, byly srovnány s hodnotami vzorků, které byly uloženy v různých typech korozních prostředí. Bylo zjištěno, že působení teploty na zkušební tělesa nijak neovlivnilo hodnoty pevnosti v tlaku. V případě směsi č. IV. byly hodnoty po uložení v teple 70°C vyšší, stejně jako v případě pevností v tahu za ohybu, než po uložení v laboratorních podmínkách. Další dva typy korozních prostředí zaznamenaly výrazný pokles hodnot pevností v tlaku, přičemž jako nejméně příznivé se ukázalo cyklické zmrazování.

Hodnoty pevností v tlaku vzorků uložených v korozním prostředí teplotně-vlhkostního namáhání jsou v tabulce č. 21 a v grafu č. 17. Vzorky byly zkoušeny po 14 dnech zrání v laboratorním prostředí a po klimatickém cyklování.

Pevnost v tlaku [MPa]	Směs			
	I	II	III	IV
Klimatické cyklování	51,27	37,08	51,17	33,17

Tabulka 21: Pevnost v tlaku vzorků uložených v teplotně-vlhkostním prostředí



Graf 17: Pevnost v tlaku vzorků uložených v teplotně-vlhkostním prostředí

Tento typ korozního prostředí se opět projevil pozitivně na hodnotách všech směsí. Nejvyšší pevnosti v tlaku dosáhla směs I.

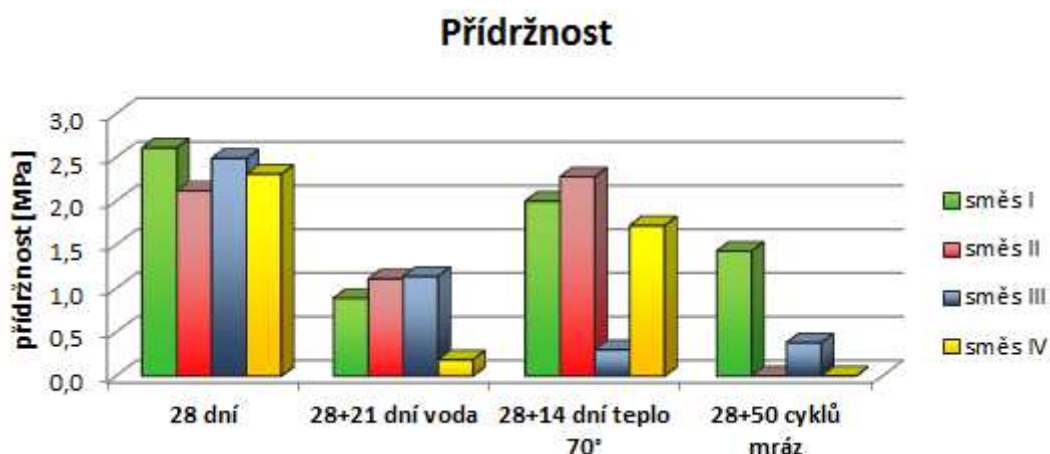
10.6 Přídržnost

Hodnoty přídržnosti vzorků uložených v laboratorním a korozním prostředí jsou v tabulce č. 22 a v grafu č. 18. Vzorky byly zkoušeny po 28 dnech normového zrání a po uplynutí doby uložení v korozním prostředí.

Přídržnost [MPa]	Směs			
	I	II	III	IV
28 dní	2,61	2,12	2,49	2,31
28+21 dní voda	0,89	1,11	1,14	0,19
28+14 dní teplo 70°	2,00	2,28	0,30	1,72
28+50 cyklů mráz	1,43	0*	0,38	0*

*Destrukce povrchu nemožnost měření

Tabulka 22: Přídržnost vzorků uložených v laboratorním a korozním prostředí



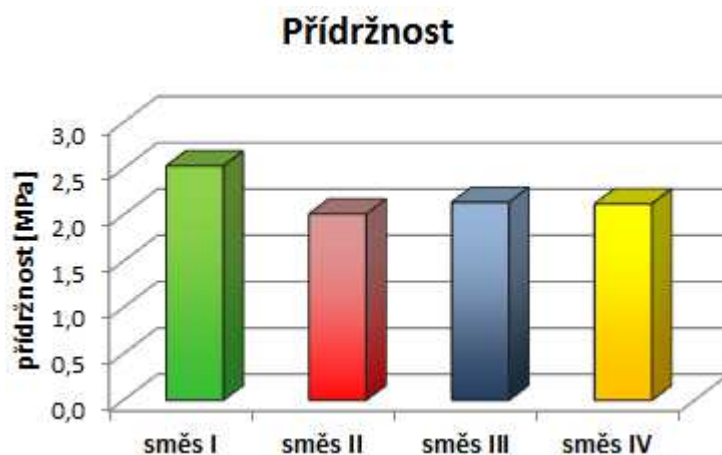
Graf 18: Přídržnost vzorků uložených v laboratorním a korozním prostředí

Hodnoty přídržností vzorků uložených v laboratorním uložení, které probíhalo bez jakéhokoliv zatěžování, byly srovnány s hodnotami vzorků, které byly uloženy v různých typech korozních prostředí. Bylo zjištěno, že působení teploty mělo ze všech typů uložení nejmenší dopady na hodnoty přídržnosti zkušebních těles. Další typy prostředí zaznamenaly velice výrazný pokles hodnot, v případě cyklického zmrazování došlo u směsi II. a III. k takovému porušení povrchu, že měření na těchto vzorcích nemohlo proběhnout. Jako nejlepší se ukázala směs I., která si ve všech typech prostředí uchovala požadované přídržnosti k podkladu.

Hodnoty přídržnosti vzorků uložených v korozním prostředí teplotně-vlhkostního namáhání jsou v tabulce č. 23 a v grafu č. 19. Vzorky byly zkoušeny po 14 dnech zrání v laboratorním prostředí a po klimatickém cyklování.

Přídržnost [MPa]	Směs			
	I	II	III	IV
Klimatické cyklování	2,53	2,01	2,14	2,12

Tabulka 23: Přídržnost vzorků uložených v teplotně-vlhkostním prostředí



Graf 19: Přidržnost vzorků uložených v teplotně-vlhkostním prostředí

Tento typ korozního prostředí nezpůsobil výrazný pokles hodnot přidržnosti všech směsí. Nejvyšší pevnosti v tlaku dosáhla směs I.

11 III. Etapa: Modifikace vybrané směsi a její následné zkoušení po uložení v laboratorním a korozním prostředí

11.1 Modifikované směsi

Po srovnání všech hodnot získaných v rámci II. etapy byla vybrána receptura s nejvhodnějšími vlastnostmi pro její modifikaci. Zvolená směs číslo I. se ve III. etapě stala směsí referenční (Io). U této referenční směsi byla provedena částečná náhrada vápence za vybrané typy přísad. Navrženy a odzkoušeny byly 4 varianty, u kterých byly následně provedeny alternativní zkouška otevřeného času a zkoušky požadované normou, tedy zkouška rozlivu, stanovení pevnosti v tahu za ohybu, pevnosti v tlaku a navíc také zkouška přidržnosti.

Směs Ia, kde byl jemně mletý vápenec částečně nahrazen Stachesilem. Přídavek aditiva byl 10% z hmotnosti pojiva, tedy 2,25% Stachesilu. Jedná se vlastně o práškovou příměs na bázi mikrosiliky, která je podrobněji popsána v kapitole 9.10.

Směs Ib, obsahovala přídavek Metaveru I – I Meta 4 na úkor mletého vápence. Přídavek činil 20% z hmotnosti pojiva, což bylo ve výsledku 4,5% přísady. Metaver I – I Meta 4 je tepelně ošetřený čistý kaolin, tato přísada je podrobněji popsána v kapitole 9.11.

Směs Ic, tato směs byla upravena Micrositem M10, který z části nahradil jemně mletý vápenec. Dávkování bylo 12% z hmotnosti pojiva, což odpovídalo 2,7% Microsиту. Je to nová přísada pucolánového typu, podrobněji popsána v kapitole 9.12.

Směs Id, je kombinaci všech tří přísad dávkovaných na úkor velmi jemně mletého vápence. Přídavky přísad byly poloviční z množství dávkování u Ia – Ic, tedy Stachesil 1,13%, Metaver I – I Meta 4 2,25% a Microsit M10 1,35%.

Tabulka 24: Složení referenční směsi a upravených směsí

SMĚS	Io	Ia	Ib	Ic	Id
SLOŽKA	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
CA slínek	15	15	15	15	15
Síran vápenatý - hemihydrát	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Aditiva	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15
Diutanová guma - antisegregace	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Retardér tuhnutí - kyselina vinná	0,0325	0,0325	0,0325	0,0325	0,0325
STACHESIL	-	2,25	-	-	1,13
METAVÉR I - I META 4	-	-	4,5	-	2,25
MICROSIT M10	-	-	-	2,7	1,35
Akcelerator tvrdnutí - uhličitán lithný	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Křemičitý písek frakce 0,0 - 0,3 mm	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5
Křemičitý písek frakce 0,3 - 0,6 mm	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5
Vápenec velmi jemně mletý	20,2075	17,9575	15,7075	17,5075	15,4775
Voda	20	20	20	20	20

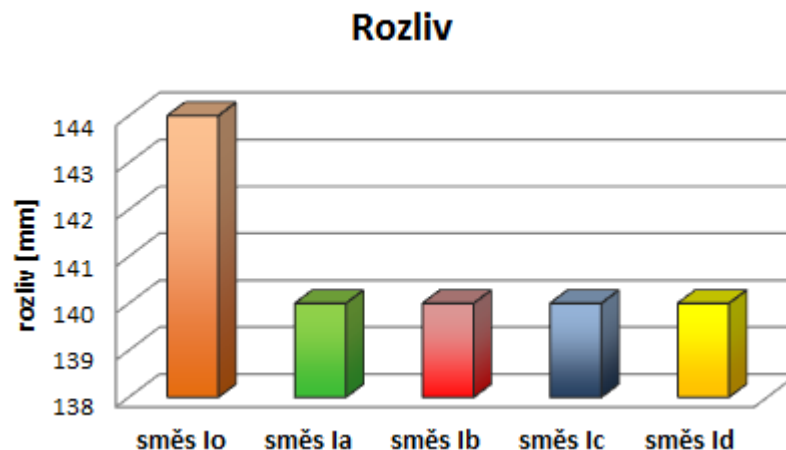
Poznámka: Aditiva jsou sumou polymerního prášku a odpěňovače.

11.2 Zkouška rozlivu

Hodnoty rozlivu jsou uvedeny v tabulce č. 25. a grafu č. 20.

Rozliv	Směs				
	Io	Ia	Ib	Ic	Id
[mm]	144	140	140	140	140

Tabulka 25: Hodnoty zkoušky rozlivu



Graf 20: Hodnoty zkoušky rozlivu upravených směsí

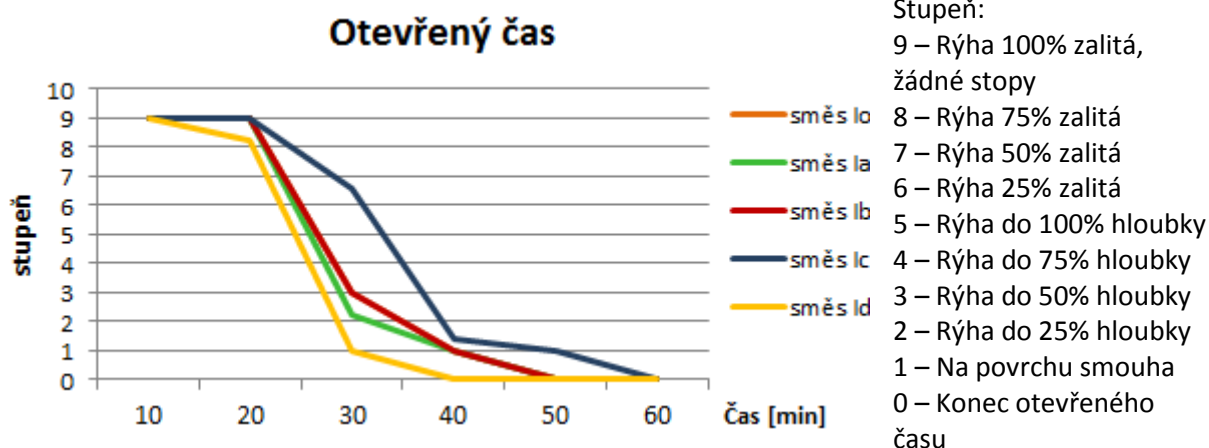
Požadovaná hodnota rozlivu by se pro samonivelační vyrovnávací hmotu měla pohybovat kolem 140 ± 10 mm. Všechny použité směsi tento požadavek splňovaly.

11.3 Otevřený čas

Otevřený čas je popsán v tabulce č. 26 a znázorněn v grafu č. 21. Jednotlivé stupně popisují začátek otevřeného času, kdy je směs v perfektním tekutém stavu a konec otevřeného času, kdy již nelze do vylité hmoty zasahovat.

Otevřený čas [min]	Směs				
	Io	Ia	Ib	Ic	Id
10 min	OK	OK	OK	OK	OK
20 min	OK	OK	OK	OK	rýha zalitá z 80%
30 min	rýha do 50%	rýha do 30%	rýha do 50%	rýha zalitá ze 40%	šmouha
40 min	šmouha	šmouha	šmouha	rýha do 10%	
50 min				šmouha	

Tabulka 26: Otevřený čas směsí



Graf 21: Otevřený čas směsí

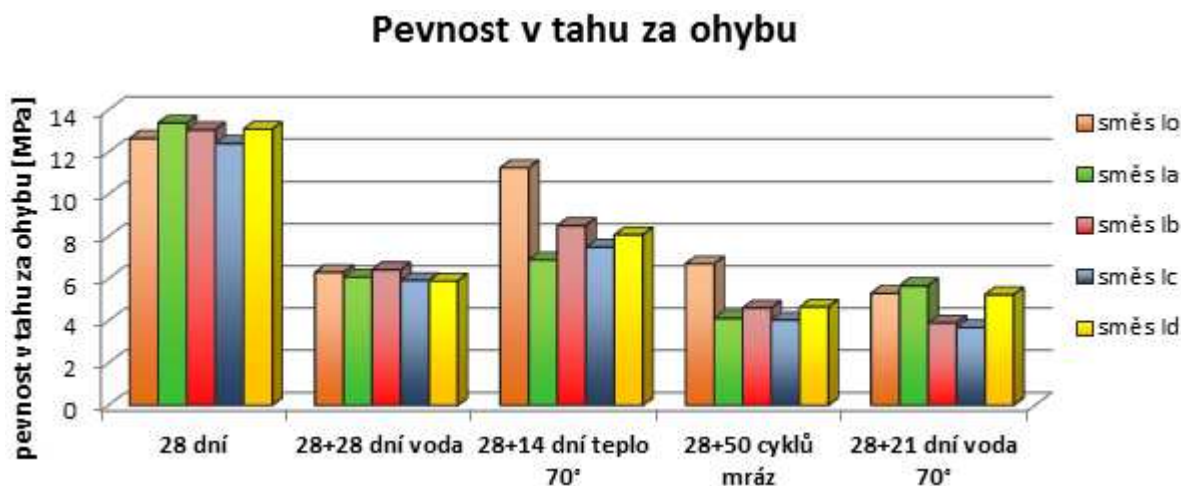
Všechny směsi byly prvních 10 minut v tekutém stavu, během dalších minut se začala zavírat směs Id. V tekutém stavu zůstala po nejdelší dobu směs Ic., u které nastal konec otevřeného času po 60 minutách.

11.4 Pevnost v tahu za ohybu

Hodnoty pevností v tahu za ohybu vzorků uložených v laboratorním a korozním prostředí jsou v tabulce č. 27 a v grafu č. 22. Vzorky byly zkoušeny po 28 dnech normového zrání a po uplynutí doby uložení v korozním prostředí.

Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	Směs				
	lo	la	lb	lc	ld
28 dní	12,65	13,38	13,06	12,42	13,09
28+28 dní voda	6,30	6,08	6,42	5,92	5,89
28+14 dní teplo 70°	11,26	6,89	8,52	7,49	8,08
28+50 cyklů mráz	6,70	4,13	4,61	4,04	4,66
28+21 dní voda 70°	5,30	5,67	3,90	3,68	5,24

Tabulka 27: Pevnost v tahu za ohybu vzorků uložených v laboratorním a korozním prostředí



Graf 22: Pevnost v tahu za ohybu vzorků uložených v laboratorním a korozním prostředí

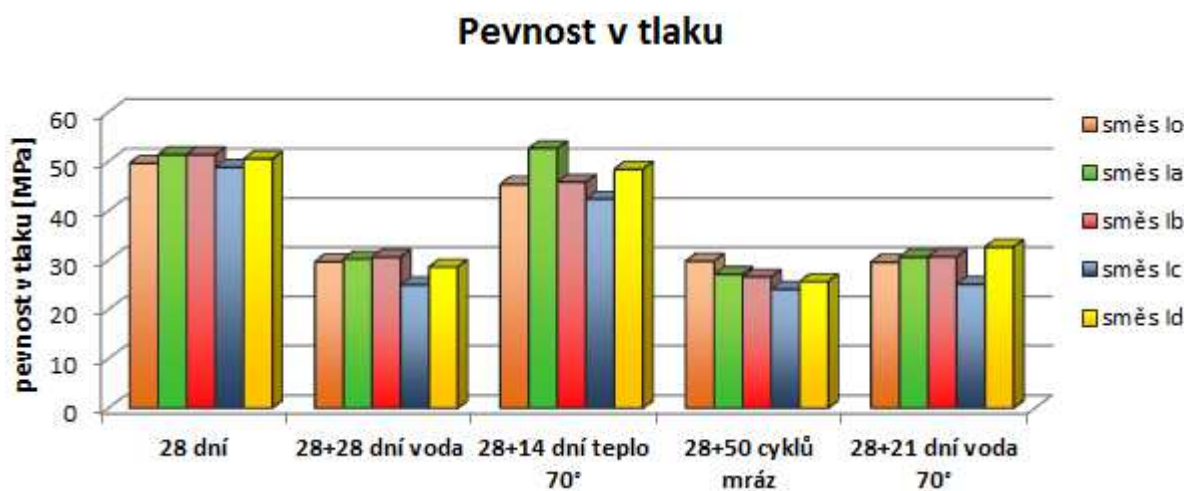
Hodnoty pevnosti v tahu za ohybu zjištěných u vzorků po laboratorním uložení, které probíhalo bez jakéhokoliv zatěžování, byly srovnány s hodnotami vzorků, které byly uloženy v různých typech korozních prostředí. Bylo zjištěno, že výrazný pokles pevností v tahu za ohybu nastal u všech typů korozních prostředí. Dále z výsledků zkoušení vyplynulo, že vybrané přísady, dávkované v malém množství, neměly žádný vliv na zlepšení vlastností

11.5 Pevnost v tlaku

Hodnoty pevností v tlaku vzorků uložených v laboratorním a korozním prostředí jsou v tabulce č. 28 a v grafu č. 23. Vzorky byly zkoušeny po 28 dnech normového zrání a po uplynutí doby uložení v korozním prostředí.

Pevnost v tlaku [MPa]	Směs				
	lo	la	lb	lc	ld
28 dní	49,66	51,39	51,40	48,83	50,53
28+28 dní voda	29,70	30,24	30,63	24,98	28,60
28+14 dní teplo 70°	45,38	52,65	45,83	42,37	48,44
28+50 cyklů mráz	29,80	27,11	26,58	24,07	25,65
28+21 dní voda 70°	29,59	30,63	30,68	25,09	32,66

Tabulka 28: Pevnost v tlaku vzorků uložených v laboratorním a korozním prostředí



Graf 23: Pevnost v tlaku vzorků uložených v laboratorním a korozním prostředí

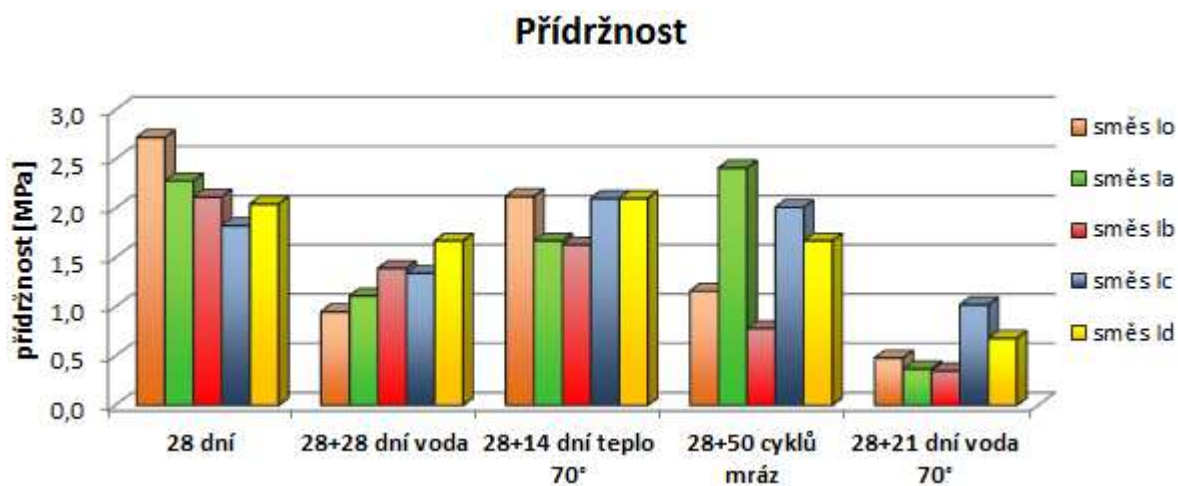
Hodnoty pevností v tlaku zjištěných u vzorků po laboratorním uložení, které probíhalo bez jakéhokoliv zatěžování, byly srovnány s hodnotami vzorků, které byly uloženy v různých typech korozních prostředí. Bylo zjištěno, že působení teploty na zkušební tělesa nezpůsobilo výrazný pokles hodnot pevnosti v tlaku. V případě směsi č. Ia a Id. byly hodnoty po uložení v teple 70°C vyšší, než po uložení v laboratorních podmínkách. Vliv vybraných přísad nebyl nijak výrazný, ale oproti pevnostem v tahu za ohybu nastalo zlepšení. Jako nejméně přínosná se v tomto srovnání ukázala přísada Microsиту, která byla použita ve směsi Ic.

11.6 Přídržnost

Hodnoty přídržnosti vzorků uložených v laboratorním a korozním prostředí jsou v tabulce č. 29 a v grafu č. 24. Vzorky byly zkoušeny po 28 dnech normového zrání a po uplynutí doby uložení v korozním prostředí.

Přídržnost [MPa]	Směs				
	lo	la	lb	lc	ld
28 dní	2,72	2,28	2,12	1,83	2,05
28+28 dní voda	0,95	1,11	1,39	1,34	1,67
28+14 dní teplo 70°	2,12	1,67	1,63	2,10	2,10
28+50 cyklů mráz	1,16	2,41	0,78	2,01	1,67
28+21 dní voda 70°	0,48	0,37	0,35	1,02	0,68

Tabulka 29: Přídržnost vzorků uložených v laboratorním a korozním prostředí



Graf 24: Přidržnost vzorků uložených v laboratorním a korozním prostředí

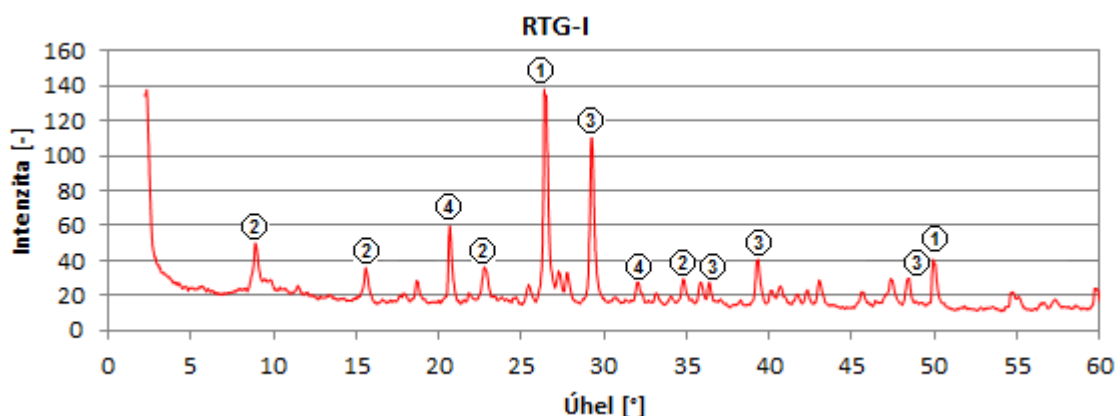
Hodnoty přidržností vzorků uložených v laboratorním uložení, které probíhalo bez jakéhokoliv zatěžování, byly srovnány s hodnotami vzorků, které byly uloženy v různých typech korozních prostředí. Bylo zjištěno, že ve všech typech prostředí nastal pokles hodnot přidržnosti zkušebních těles. Při posuzování použitých přísad, nastalo překvapení v pozitivním smyslu. Z tohoto hlediska se velmi dobře projevila přísada Microsиту, která přispěla ke zlepšení hodnot přidržností ve všech typech korozních prostředí.

12 IV. Etapa: Studium mikrostruktury na vybraných směsích

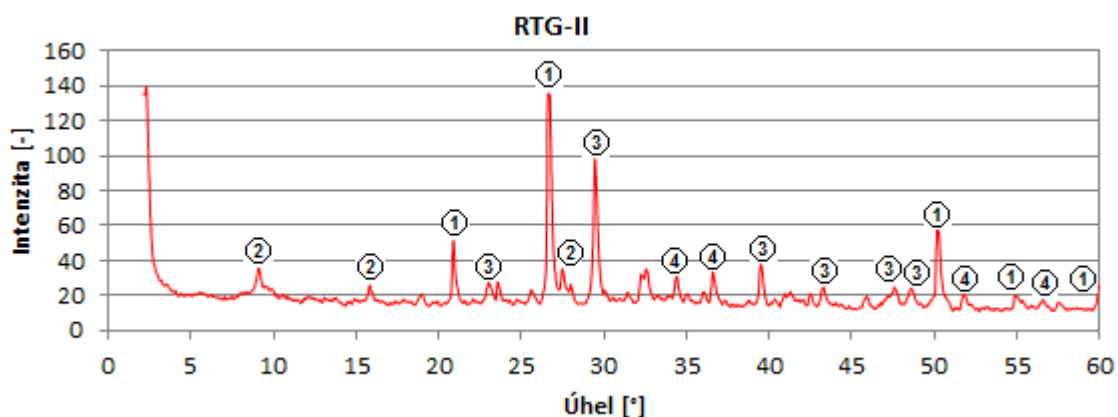
V této etapě byly vybrány směsi, na kterých se provedly zkoušky mikrostruktury. Zjišťováno bylo mineralogické složení metodou rentgenové difrakční analýzy (RTG), objem množství pórů pomocí vysokotlaké rtuťové porozimetrie a rovněž byly pořízeny snímky z elektronové rastrovací mikroskopie (REM).

12.1 Rentgenová difrakční analýza (RTG)

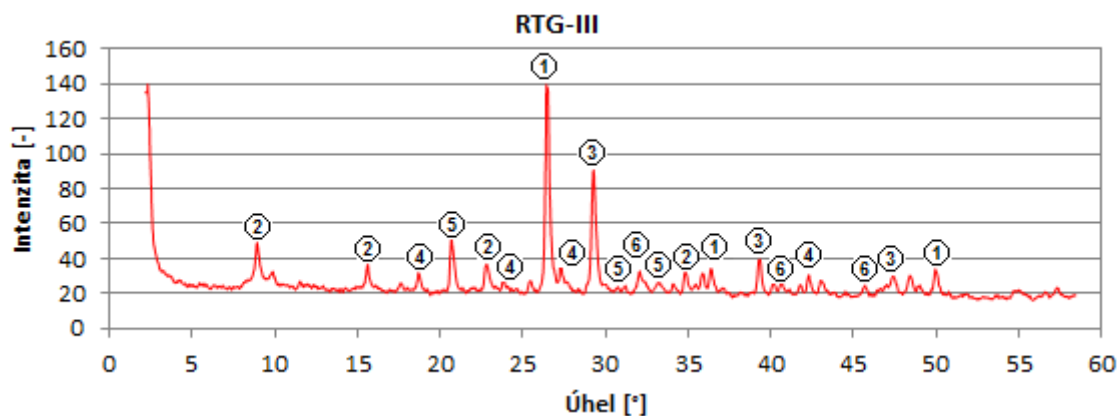
Následující grafy zobrazují výsledky rentgenové difrakční analýzy. Tato zkouška byla provedena za účelem zjištění mineralogického složení směsí I, II, III a IV, které byly uloženy po dobu 28 dní v laboratorním prostředí.



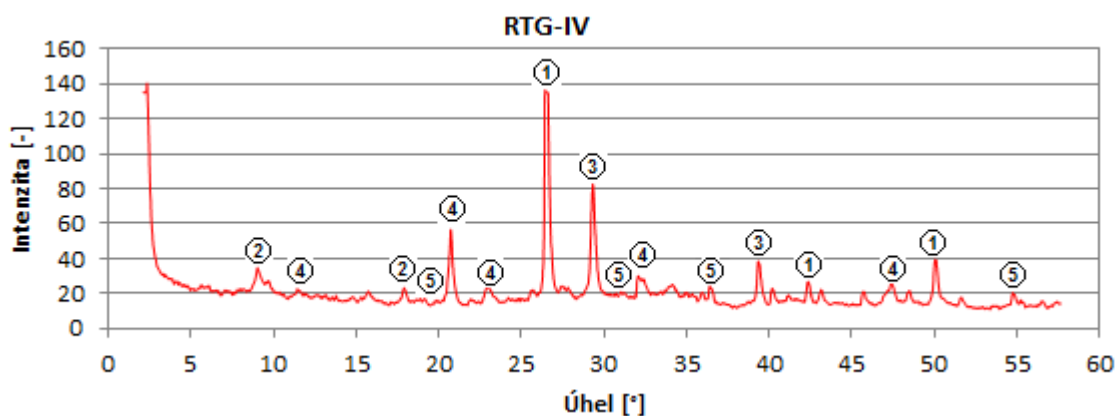
Graf 25: RTG směs I, Legenda: 1- β křemen, 2-Ettringit, 3-Kalcit, 4-Sádrovec



Graf 26: RTG směs II, Legenda: 1- β křemen, 2-Ettringit, 3-Kalcit, 4-Portlandit

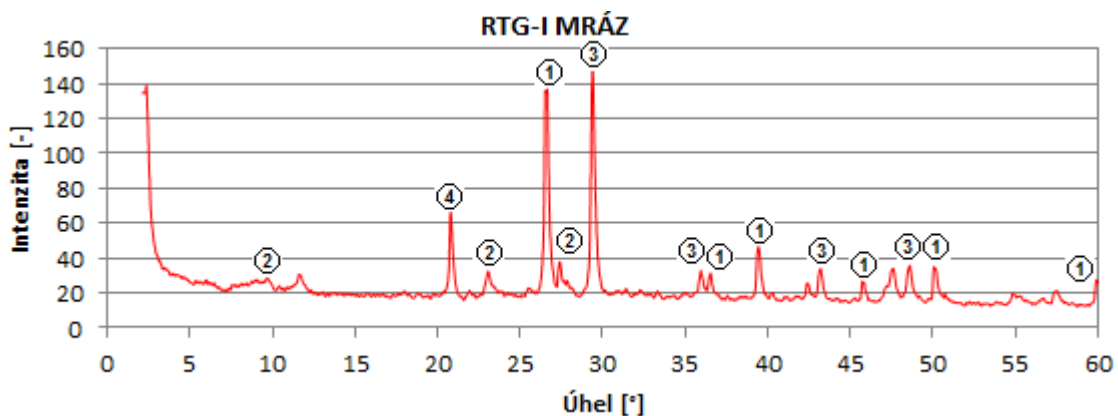


Graf 27: RTG směs III, Legenda: 1- β -křemen, 2-Ettringit, 3-Kalcit, 4- CAH_{10} , 5- C_2AH_8 , 6- C_3AH_6

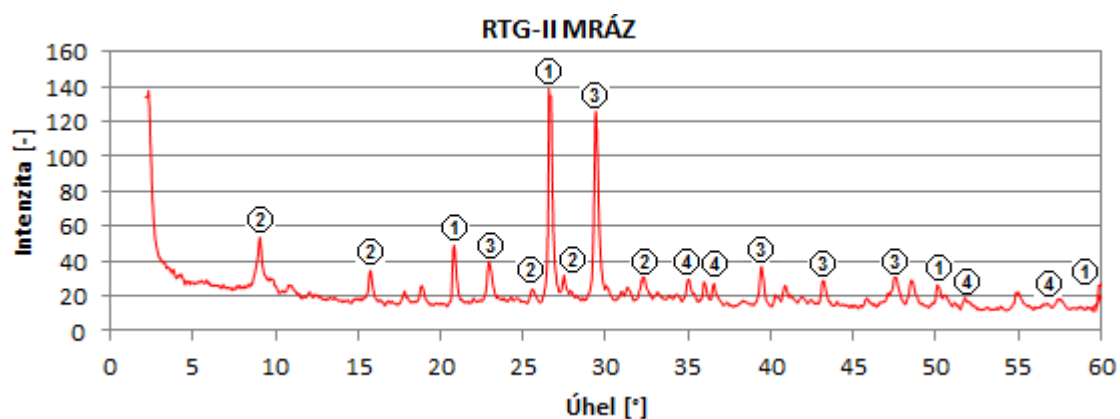


Graf 28: RTG směs IV, Legenda: 1- β -křemen, 2-Ettringit, 3-Kalcit, 4-Sádrovec, 5-Monosulfát

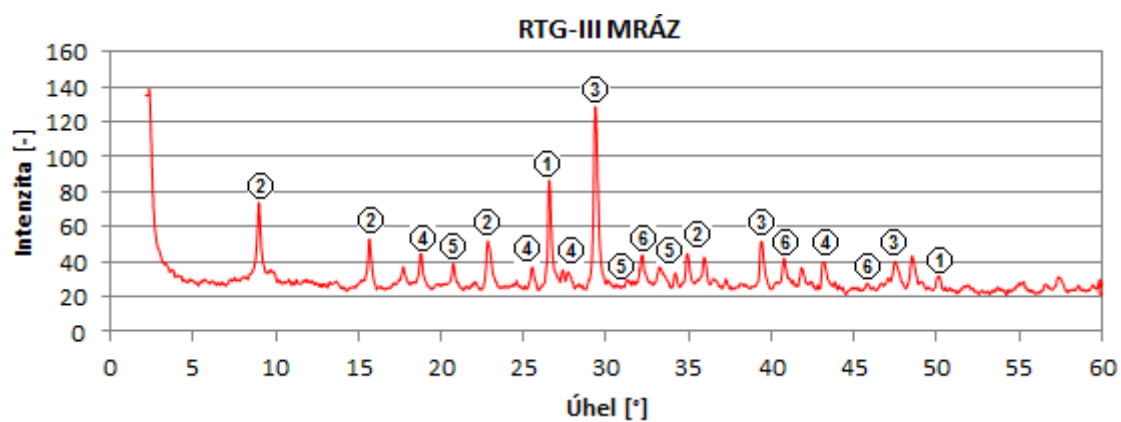
Následující grafy zobrazují výsledky rentgenové difrakční analýzy směsí I, II, III a IV, které byly uloženy po dobu 28 dní v laboratorním prostředí a poté vystaveny působení mrazu při 50 cyklech.



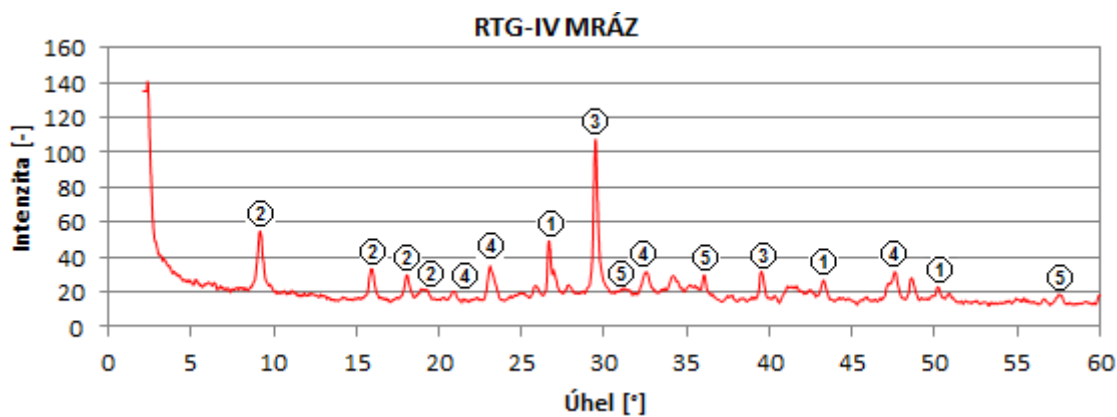
Graf 29: RTG směs I po mraze, Legenda: 1- β -křemen, 2-Ettringit, 3-Kalcit, 4-Sádrovec



Graf 30: RTG směs II po mraze, Legenda: 1- β křemen, 2-Ettringit, 3-Kalcit, 4-Portlandit

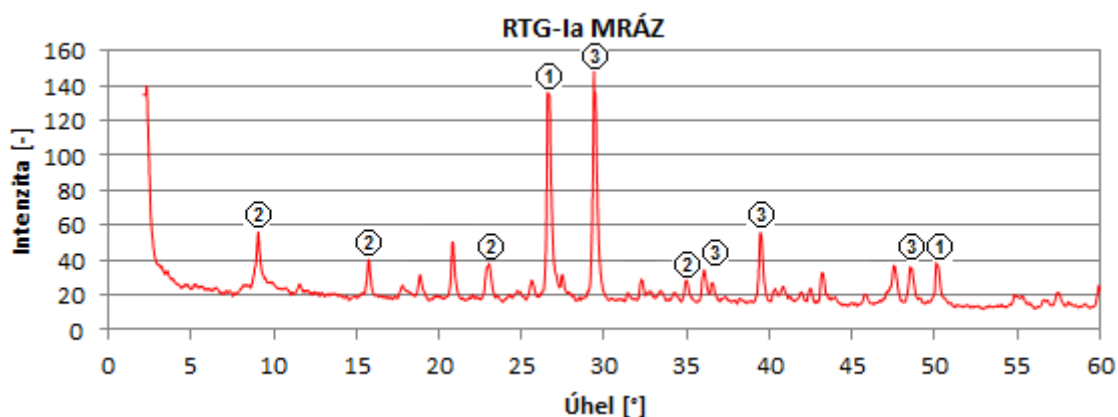


Graf 31: RTG směs III po mraze, Legenda: 1- β křemen, 2-Ettringit, 3-Kalcit, 4- CAH_{10} , 5- C_2AH_8 , 6- C_3AH_6

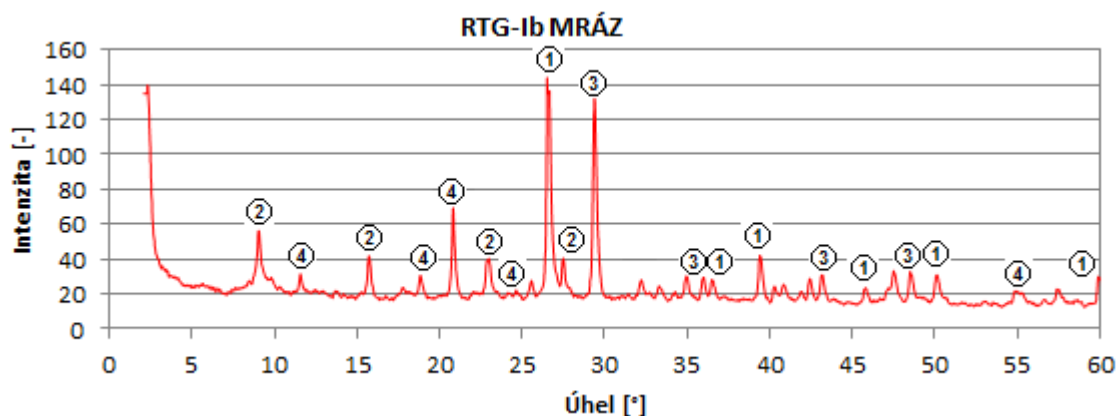


Graf 32: RTG směs IV po mraze, Legenda: 1- β křemen, 2-Ettringit, 3-Kalcit, 4-Sádrovec, 5-Monosulfát

Následující grafy zobrazují výsledky rentgenové difrakční analýzy směsí Ia a Ib, které byly uloženy po dobu 28 dní v laboratorním prostředí a poté vystaveny působení mrazu při 50 cyklech.

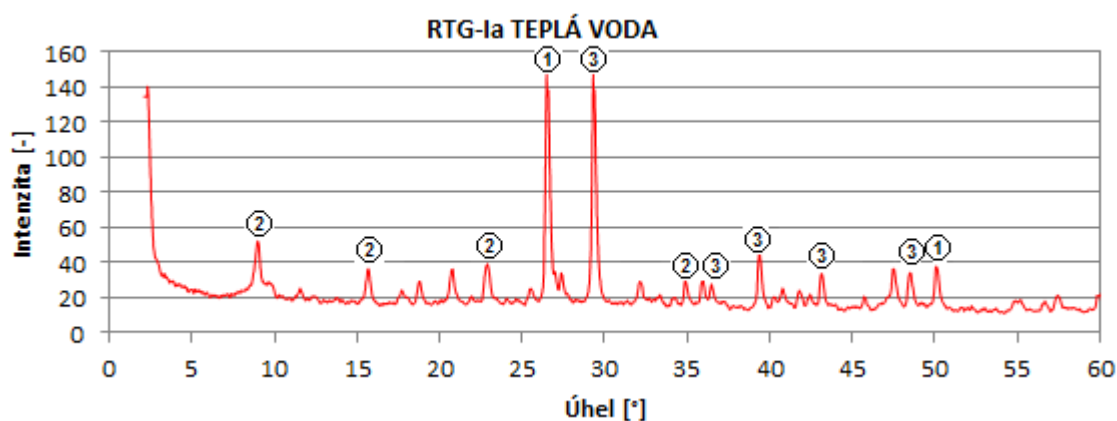


Graf 33: RTG směs Ia po mraze, Legenda: 1-βkřemen, 2-Ettringit, 3-Kalcit

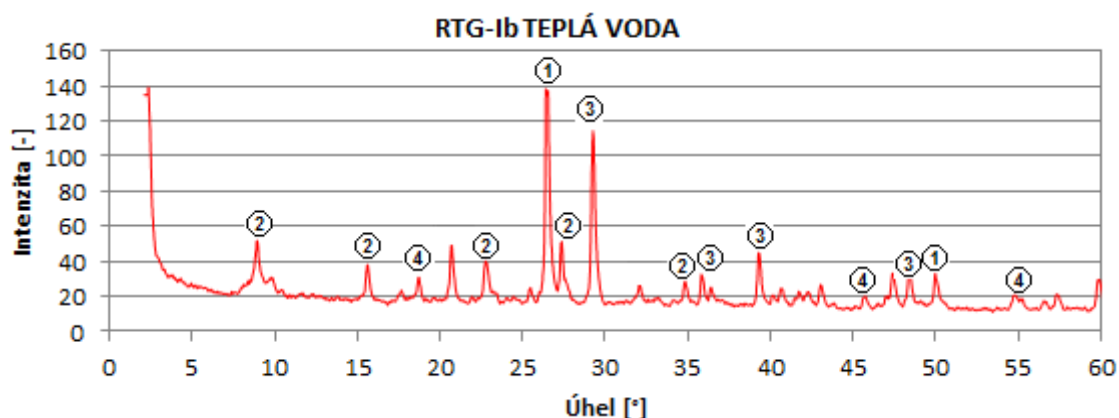


Graf 34: RTG směs Ib po mraze, Legenda: 1-βkřemen, 2-Ettringit, 3-Kalcit, 4-Kaolinit

Následující grafy zobrazují výsledky rentgenové difrakční analýzy směsí Ia a Ib, které byly uloženy po dobu 28 dní v laboratorním prostředí a poté vystaveny působení teplé vody o teplotě 70°C.



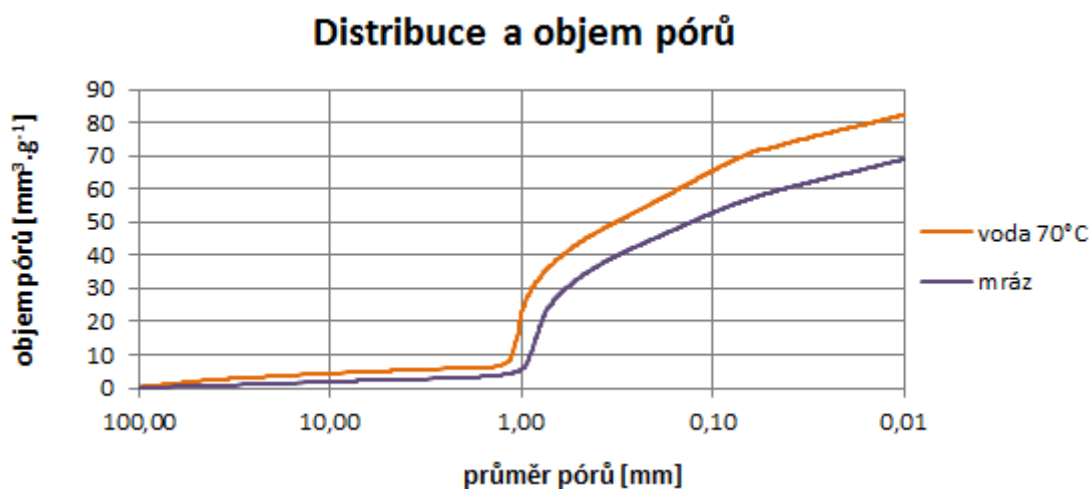
Graf 35: RTG směs Ia po teplé vodě, Legenda: 1-βkřemen, 2-Ettringit, 3-Kalcit



Graf 36: RTG směs Ib po teplé vodě, Legenda: 1-βkřemen, 2-Ettringit, 3-Kalcit, 4-Kaolinit

12.2 Vysokotlaká rtuťová porozimetrie

Tato zkouška byla prováděna za účelem zjištění distribuce a velikosti pórů směsi Ia po uložení v teplé vodě o teplotě 70°C a po cyklickém zmrazování. Výsledky rtuťové porozimetrie jsou zobrazeny v následujícím grafu.



Graf 37: Distribuce a objem pórů směsi Ia

12.3 Elektronová rastrovací mikroskopie (REM)

Snímky z rastrovacího elektronového mikroskopu směsí I, II, III a IV, které byly uloženy po dobu 28 dní v laboratorním prostředí, jsou uvedeny na následujících obrázcích.



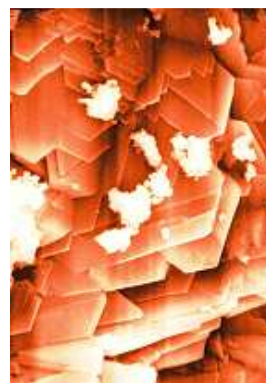
Obrázek 14: Směs I, krystaly ettringitu, zvětšeno 3000x



Obrázek 15: Směs II, krystalky ettringitu, zvětšeno 3100x



Obrázek 16: Směs III, krystalky ettringitu, zvětšeno 3000x



Obrázek 17: Směs IV, krystaly monosulfátu, zvětšeno 3100x

Snímky z rastrovacího elektronového mikroskopu směsí I, II, III a IV, které byly uloženy po dobu 28 dní v laboratorním prostředí a dalších 21 dní ve vodním uložení, jsou uvedeny na následujících obrázcích.



Obrázek 18: Směs I, krystaly ettringitu, zvětšeno 3100x



Obrázek 19: Směs II, krystalky ettringitu, zvětšeno 3100x



Obrázek 20: Směs III, krystalky ettringitu, zvětšeno 3100x

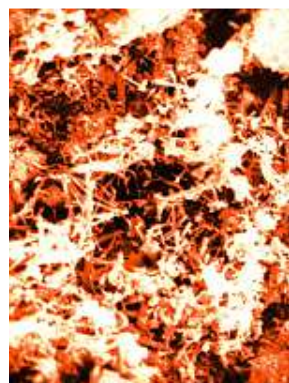


Obrázek 21: Směs IV, krystalky monosulfátu a sádrovce, zvětšeno 3000x

Snímky z rastrovacího elektronového mikroskopu směsí I, II, III a IV, které byly uloženy po dobu 28 dní v laboratorním prostředí a dalších 14 dní v sušárně při teplotě 70°C, jsou uvedeny na následujících obrázcích.



Obrázek 22: Směs I, krystaly ettringitu, zvětšeno 3000x



Obrázek 23: Směs II, krystalky ettringitu, zvětšeno 3100x



Obrázek 24: Směs III, krystalky ettringitu, zvětšeno 3000x



Obrázek 25: Směs IV, krystaly monosulfátu, zvětšeno 3000x

Snímky z rastrovacího elektronového mikroskopu směsí I, II, III a IV, které byly uloženy po dobu 28 dní v laboratorním prostředí a poté vystaveny působení mrazu při 50 cyklech, jsou uvedeny na následujících obrázcích.



Obrázek 26: Směs I, krystaly ettringitu, zvětšeno 3000x



Obrázek 27: Směs II, krystalky ettringitu, zvětšeno 3000x

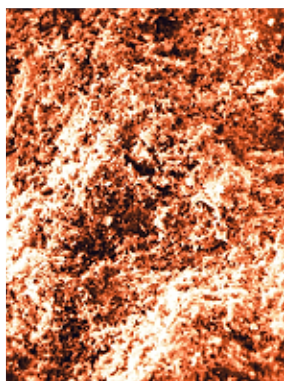


Obrázek 28: Směs III, kalcium-aluminát hydráty mezi krystalky ettringitu, zvětšeno 3000x

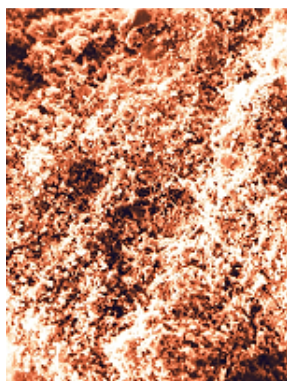


Obrázek 29: Směs IV, krystalky ettringitu, zvětšeno 3000x

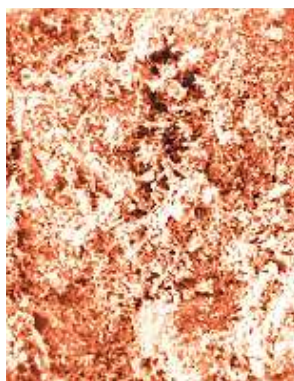
Snímky z rastrovacího elektronového mikroskopu směsí Ia, Ib, Ic a Id, které byly uloženy po dobu 28 dní v laboratorním prostředí a dalších 21 dní v teplé vodě o teplotě 70°C, jsou uvedeny na následujících obrázcích.



Obrázek 30: Směs Ia, vzhled struktury, zvětšeno 300x



Obrázek 31: Směs Ib, vzhled struktury, zvětšeno 300x



Obrázek 32: Směs Ic, vzhled struktury, zvětšeno 300x



Obrázek 33: Směs Id, vzhled struktury, zvětšeno 300x

Snímky z rastrovacího elektronového mikroskopu směsí Ia, Ib, Ic a Id, které byly uloženy po dobu 28 dní v laboratorním prostředí a dalších 21 dní v teplé vodě o teplotě 70°C, jsou uvedeny na následujících obrázcích.



Obrázek 34: Směs Ia, krystaly ettringitu, zvětšeno 3000x



Obrázek 35: Směs Ib, krystaly ettringitu, zvětšeno 3000x



Obrázek 36: Směs Ic, zrno Microsity mezi krystaly ettringitu, zvětšeno 3000x



Obrázek 37: Směs Id, krystaly ettringitu, zvětšeno 3000x

Ze snímků elektronové rastrovací mikroskopie lze vypožorovat, že tvorba ettringitu proběhla v naprosté většině směsí a to téměř ve všech typech korozního prostředí.

Jelikož se všechny snímky pohybují okolo zvětšení 3000x, je z těchto snímků patrné, že u směsi I. se tvořily větší krystaly ettringitu, než u směsi II. a III., kde jsou jehličky ettringitu mnohem jemnější. U směsi IV. byly jako u jediné nalezeny krystaly monosulfátu.

13 Diskuze výsledků

13.1 I. Etapa: Rozbor vstupních surovin

Úkolem první etapy bylo pro použité suroviny a vybrané přísady stanovit základní fyzikálně-mechanické a fyzikálně-chemické vlastnosti, podávající přehled o složení a struktuře. Bylo zjištěno chemické a mineralogické složení u vybraných surovin. U práškových materiálů byly určeny měrné hmotnosti a byla stanovena sypná hmotnost. Z hlediska modifikace zvolené směsi byly důležité rozborů a analýzy u vybraných přísad.

13.2 II. Etapa: Návrh jednotlivých směsí a jejich následné zkoušení po uložení v laboratorním a korozním prostředí

V rámci II. etapy byly navrženy a namíchány čtyři základní směsi vybraných surovin. Základní směsi byly navrženy dle receptur dodaných firmou LB CEMIX, spol. s r. o. Byly provedeny zkoušky těchto směsí a získané fyzikálně-mechanické vlastnosti byly poté mezi sebou porovnány.

Úkolem II. etapy bylo vymyslet a navrhnout korozní prostředí pro sledování trvanlivosti, protože není k dispozici norma definující vhodná korozní uložení samonivelačních hmot, inspirovali jsme se normami ČSN EN, které jsou určeny pro malty a lepidla pro keramické obkladové prvky.

Ze zjištěných výsledků lze konstatovat, že:

- Všechny použité směsi splnily požadavek rozlivu.
- Všechny směsi byly prvních 20 minut v perfektním tekutém stavu. Nejdéle tekutá zůstala směs IV., u které nastal konec otevřeného času po 80 minutách.
- Hodnota pevnosti v tahu za ohybu, naměřená u vzorků po 28 dnech laboratorního uložení, se pohybovala okolo 10MPa. Bylo zjištěno, že působení teploty na zkušební tělesa nijak neovlivnilo hodnoty pevnosti v tahu za ohybu. V případě směsi č. IV. byly hodnoty po uložení v teple 70°C ještě vyšší, než po uložení laboratorním. Tyto hodnoty pevnosti v tahu za ohybu se zvedly z původních 8,43MPa na 11,18MPa. Další dva typy korozních prostředí zaznamenaly výrazný pokles hodnot pevností v tahu za ohybu, přičemž jako nejméně příznivé se ukázalo cyklické zmrazování.
- Pevnost v tlaku byla, co se týče výsledků, dost podobná pevnosti v tahu za ohybu. Rovněž bylo zjištěno, že uložení vzorků do prostředí o teplotě 70°C, jako jediné nijak neovlivnilo hodnoty pevnosti v tlaku. Také zde se hodnota směsi č. IV. ukázala vyšší,

než po uložení v laboratorních podmínkách. Hodnota této směsi vzrostla z počátečních 28,54MPa na 32,44MPa. Jako nejméně příznivé se ukázalo cyklické zmrazování, kde ve dvou případech nastala destrukce povrchu, a proto nebylo možné měření provést.

- Přídržnost k podkladu vzorků uložených v laboratorním prostředí přesahovala u všech čtyř směsí hodnotu 2MPa. Téměř všechny typy korozního prostředí zaznamenaly velice výrazný pokles hodnot, v případě cyklického zmrazování došlo u směsi II. a III. k takovému porušení povrchu, že měření na těchto vzorcích nemohlo proběhnout. Jako nejlepší se ukázala směs I., která si ve všech typech prostředí uchovala požadované přídržnosti k podkladu.
- Teplotně-vlhkostní namáhání v klimatické komoře, které dá se říct, působilo na vlastnosti zkušebních těles „blahodárně“, se projevilo pozitivně na hodnotách všech směsí. Nejvyšší hodnoty pevnosti v tahu za ohybu, pevnosti v tlaku i přídržnosti k podkladu dosáhla směs I.

13.3 III. Etapa: Modifikace vybrané směsi a její následné zkoušení po uložení v laboratorním a korozním prostředí

Úkolem III. etapy bylo, na základě hodnot získaných ve II. etapě, vybrat recepturu s nejvhodnějšími vlastnostmi a provést její modifikaci. K těmto účelům byla vybrána směs I., která se ve III. etapě stala směsí referenční. Modifikace této směsi spočívala v částečné náhradě vápence za vybrané typy přísad. Navrženy a odzkoušeny byly 4 varianty (Ia, Ib, Ic, Id), u kterých byly následně provedeny zkoušky. Výsledné hodnoty modifikovaných směsí byly mezi sebou porovnány, aby se zjistil vliv použitých přísad na fyzikálně-mechanické vlastnosti a trvanlivost vzorků po uložení v korozním prostředí. Rovněž bylo provedeno srovnání těchto modifikovaných směsí se směsí referenční.

Ze zjištěných hodnot můžeme konstatovat, že:

- Všechny použité směsi splnily požadavek rozlivu.
- Všechny směsi byly prvních 10 minut v perfektním tekutém stavu. Nejdéle tekutá zůstala směs Ic., u které nastal konec otevřeného času po 60 minutách.
- Hodnota pevnosti v tahu za ohybu, zjištěná u vzorků po 28 dnech laboratorního uložení, se pohybovala okolo 13MPa. Bylo zjištěno, že výrazný pokles pevností v tahu za ohybu nastal u všech typů korozních prostředí. Dále z výsledků zkoušení vyplynulo, že vybrané přísady, dávkované v malém množství, neměly vliv na zlepšení

vlastností. Lze předpokládat, že při zvýšení dávek vybraných přísad, by zlepšení vlastností mohlo nastat.

- Hodnoty pevností v tlaku zjištěných u vzorků po laboratorním uložení se pohybovaly kolem 50MPa. Po uložení vzorků v různých typech korozních prostředí bylo zjištěno, že působení těchto prostředí na zkušební tělesa se projevilo poklesem hodnot pevnosti v tlaku. Vliv vybraných přísad nebyl nijak výrazný, ale oproti pevnostem v tahu za ohybu, nastalo zlepšení. Jako nejméně přínosná se v tomto srovnání ukázala přísada Micrositu, která byla použita ve směsi Ic.
- Hodnoty přídržností vzorků uložených v laboratorním uložení byly téměř u všech směsí okolo 2MPa. Bylo zjištěno, že ve všech typech prostředí nastal pokles hodnot přídržnosti zkušebních těles. Z tohoto hlediska se jako nejlepší jevila přísada Micrositu, která přispěla ke zlepšení hodnot přídržností ve všech typech korozních prostředí.

13.4 IV. Etapa: Studium mikrostruktury u vybraných směsí

V poslední IV. etapě byly vybrány směsi, na kterých se provedly další doplňkové zkoušky mikrostruktury. Zjistili jsme mineralogické složení metodou rentgenové difrakční analýzy (RTG), objem množství pórů pomocí vysokotlaké rtuťové porozimetrie a rovněž byly pořízeny snímky z elektronové rastrovací mikroskopie (REM).

V. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo posoudit fyzikálně–mechanické vlastnosti a trvanlivost pojivových koncepcí na bázi účelového vzniku ettringitu. Dále bylo snahou zlepšit sledované vlastnosti zakomponováním vybraných přísad.

Jako celkově nejlepší receptura byla vybrána směs I, která představovala „odrazový můstek“ pro modifikaci směsi vybranými přísadami. Zde se ukázalo, že navržené přídavky přísad, byly natolik minimální, že ovlivnění směsí těmito přísadami nastala pouze v malé míře.

Ze všech typů navržených korozních prostředí, se jako nejméně škodlivé s ohledem na trvanlivost, projevilo působení vyšších teplot, konkrétně působení 70°C, které ovšem také nebylo bez zhoršení sledovaných parametrů. Tento výsledek diplomové práce je v rozporu s tvrzením [14], že ettringit je stejně jako C-S-H fáze stabilní do 110°-130°C. Na základě výsledků zjištěných v rámci této diplomové práce, by se dalo spíše souhlasit s panem Glasserem [26], který je názoru, že ztráta vody souvisí se strukturální degradací, která nastává již při teplotách 45°C a relativní vlhkosti 30-50%.

Během řešení a vypracovávání této diplomové práce vyvstalo mnoho dalších otázek, jako např. nevhodnost použití zkoušených hmot do exteriéru, z tohoto důvodu by měl být na tuto problematiku zaměřen další výzkum.

Výsledky diplomové práce, uvedené v praktické části, mohou posloužit jako dobré vodítko pro další výzkum.

VI. Seznam použité literatury

- [1] Wikipedia.org [online]. [cit. 4.4.2011]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Ettringite>
- [2] Šauman, Z. Maltoviny I, Nakladatelství PC-DIR, Brno, 1993
- [3] Bárta, R. Chemie a technologie cementu, Nakladatelství Československé AV, Praha, 1961.
- [4] Drochytka, R. a kol. Keramické obklady a dlažby, 1.vyd. Hradec Králové: VEGA s.r.o., 2000, ISBN 80-900860-5-5
- [5] Profimat.cz [online]. [cit. 1.12.2011]. Dostupný z WWW: <http://www.profi-mat.cz/nase-sluzby/95/29/kotevni-a-zalivkove-malty>
- [6] Basf-cc.cz [online]. [cit. 1.12.2011]. Dostupné z WWW: <http://www.basf-cc.cz/cs/kestazeni/prospekty/Documents/zalivkove%20a%20montazni%20hmoty.pdf>
- [7] Taylor, H. F. W, Cement Chemistry, Thomas Telford Publishing, London 1997, ISBN 0 7277 2592 0
- [8] Odler, I., Special Inorganic Cement, E & FN Spon, London and New York 2000, ISBN 0-419-22790-3.
- [9] Obst, F., Untersuchungen zum Schwindverhalten von Tonerdezementen – Versuche zur Schwindoptimierung, Sborník konference: HCA Kundenveranstaltung, 2003 Leimen
- [10] Amathieu, L., Bier, T. A., Scrivener, K. L., Mechanism of Set Acceleration of Portland Cement Through CAC Addition, příspěvek z konference Calcium Aluminate Cements, Edinburg 7/2001.
- [11] Drochytka, R., Dohnálek, J., Bydžovský, J., Pumpr, V., Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TP SSBK II, Sdružení pro sanace betonových konstrukcí, Brno 2002
- [12] Lite-smesi.cz [online]. [cit. 15.12.2011]. Dostupné z WWW: <http://www.lite-smesi.cz/verejnost/priklady/lite-podlahy/>
- [13] Imaterialy.cz [online]. [cit. 15.12.2011]. Dostupné z WWW: <http://www.imaterialy.cz/Clanky/Samonivelacni-sterky-kvalita-apouziti1.html>
- [14] Newman, J., Advanced concrete technology Constituent materials, London 2003, ISBN 0 7506 5103 2
- [15] Drochytka, R., Trvanlivost stavebních materiálů, Studijní opora, Brno, 2007

- [16] Štenko, M., Žižková, N., Macháňová, P., Pojivové koncepce samonivelačních podlahových stěrek a potěrů, Odborná konference Maltoviny, Brno, 2011, ISBN 978-80-214-4372-3 s. 155-167
- [17] Homel.vsb.cz [online]. [cit.16.12.2011]. Dostupné z WWW: http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=malty_cement_zk
- [18] Wikipedia.org [online]. [cit. 4.4.2011]. Dostupné z WWW: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ettringite-122297.jpg>
- [19] Frank, V., Brandštetr, J., Havlica, J., Ettringit – prospěšný i škodlivý, Minerální suroviny – Surovce mineralne, 2003, ročník 5, číslo 2, s. 12-19
- [20] Karfíková, M., Havlica, J., Imobilizace iontů ve struktuře ettringitu, 1997, Sborník konference Ekologické možnosti využívání druhotných surovin ve stavebnictví a jiných odvětvích, s. 61. VUSH + VUT Brno
- [21] Struble, L. J., Synthesis and Characterization of Ettringite and Related Phases, 1987, 8th ICCI, IV, s. 582-588
- [22] Stark, J., Bollmann, K., Ettringite formation – A Durability Problem of Concrete Pavements, 1997, Proceedings of the 10th ICCI, Gothenburg, IV, s. 8
- [23] Podlahar.cz [online]. [cit.12.12.2011]. Dostupné z WWW: <http://www.podlahar.cz/priprava-podkladu/samonivelacni-sterka.html>
- [24] Časopis Podlahy a interiér, [online]. [cit.19.12.2011]. Dostupné z WWW: <http://www.az-podlahy.cz>
- [25] Lite-smesi.cz [online]. [cit. 20.12.2011]. Dostupné z WWW: <http://www.lite-smesi.cz/doc/cemflow.pdf>
- [26] Glasser, F., Ettringite revisited, University of Aberdeen old Aberdeen, Scotland, Dostupné z WWW: <http://www.caer.uky.edu/podcast/Glasser-CAERseminiar2009.pdf>

VII. Fotodokumentace



Obr. 1: Směs I, po 28 dnech laboratorního uložení a 21 dnech ve vodním uložení



Obr. 2: Směs II, po 28 dnech laboratorního uložení a 21 dnech ve vodním uložení



Obr. 3: Směs III, po 28 dnech laboratorního uložení a 21 dnech ve vodním uložení



Obr. 4: Směs IV, po 28 dnech laboratorního uložení a 21 dnech ve vodním uložení



Obr. 5: Směs I, po 28 dnech laboratorního uložení a 14 dnech uložení v teple



Obr. 6: Směs II, po 28 dnech laboratorního uložení a 14 dnech uložení v teple



Obr. 7: Směs III, po 28 dnech laboratorního uložení a 14 dnech uložení v teple



Obr. 8: Směs IV, po 28 dnech laboratorního uložení a 14 dnech uložení v teple



Obr. 9: Směs I, po 28 dnech laboratorního uložení a 50 zmrazovacích cyklech



Obr. 10: Směs II, po 28 dnech laboratorního uložení a 50 zmrazovacích cyklech



Obr. 11: Směs III, po 28 dnech laboratorního uložení a 50 zmrazovacích cyklech



Obr. 12: Směs IV, po 28 dnech laboratorního uložení a 50 zmrazovacích cyklech



Obr. 13: Směs I, po 14 dnech laboratorního uložení a po klimatickém cyklování



Obr. 14: Směs II, po 14 dnech laboratorního uložení a po klimatickém cyklování



Obr. 15: Směs III, po 14 dnech laboratorního uložení a po klimatickém cyklování



Obr. 16: Směs IV, po 14 dnech laboratorního uložení a po klimatickém cyklování



Obr. 17: Směs Ia po 28 dnech laboratorního uložení



Obr. 18: Směs Ib po 28 dnech laboratorního uložení



Obr. 19: Směs Ic po 28 dnech laboratorního uložení



Obr. 20: Směs Id po 28 dnech laboratorního uložení



Obr. 21: Směs Ia, po 28 dnech laboratorního uložení a po 21 dnech uložení ve vodě o teplotě 70°C



Obr. 22: Směs Ib, po 28 dnech laboratorního uložení a po 21 dnech uložení ve vodě o teplotě 70°C



Obr. 23: Směs Ic, po 28 dnech laboratorního uložení a po 21 dnech uložení ve vodě o teplotě 70°C



Obr. 24: Směs Id, po 28 dnech laboratorního uložení a po 21 dnech uložení ve vodě o teplotě 70°C